



VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ  
– TECHNICKÁ UNIVERZITA  
OSTRAVA

TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ  
| INSTITUT DOPRAVY

FAKULTA STROJNÍ  
INSTITUT DOPRAVY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF TRANSPORT

## STANOVENÍ SPOLEHLIVOSTI A ÚPRAVA SYSTÉMU ÚDRŽBY NÁKLADNÍCH VOZIDEL

DETERMINATION OF RELIABILITY AND MODIFICATION OF TRUCK MAINTENANCE SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTERS'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Martin Filák

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

OSTRAVA, 2020

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Martin Filák**

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2301T003 Dopravní technika a technologie

Specializace:

20 Silniční doprava

Téma:

Stanovení spolehlivosti a úprava systému údržby nákladních vozidel  
Determination of Reliability and Modification of Truck Maintenance  
System

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je stanovit dosaženou úroveň provozní spolehlivosti a s využitím těchto výsledků navrhnout úpravy systému údržby. Při návrhu úprav zohlednit specifické provozní podmínky v lomu Štramberk.

Postup řešení:

1. Popis vozidlového parku.
2. Výpočetní metody pro stanovení spolehlivosti.
3. Zpracování a vyhodnocení experimentálních dat.
4. Návrh úprav systému údržby vozidel.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

Famfulík, J. a kol. Zkoušky spolehlivosti. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2277-8.

Famfulík, J. Teorie údržby. VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1029-8.

Daněk, A. Výpočetní metody obnovy dopravních prostředků. Repronis, Ostrava, 1999. ISBN 80-86122-41-7.

ČSN IEC 61650: 1998. Techniky analýzy dat o bezporuchovosti.

Podklady společnosti LB Cemix Kotouč Štramberk.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



---

prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



---

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jana Famfulíka, Ph.D. a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o vozidlech získaných od firmy LB Cemix Kotouč Štramberk, firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 18. května 2020 .....

Bc. Martin Filák

## PROHLAŠUJI, ŽE:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020

.....

Bc. Martin Filák

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

FILÁK, M. Stanovení spolehlivosti a úprava systému údržby nákladních vozidel: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2020, 80 s. Vedoucí diplomové práce: Famfulík, J.

V této diplomové práci byla posuzována spolehlivost nákladních vozidel Belaz 7547 a Tatra 158 Phoenix ve vápencovém lomu LB Cemix Kotouč Štramberk. V teoretické části byly popsány teorie spolehlivosti a používané metody pro výpočty spolehlivosti. Praktická část se dělí na dvě části, přičemž v první dochází k určení a porovnání spolehlivosti jednotlivých konstrukčních celků a vozidel. Ve druhé části byly navrženy úpravy v dosavadních údržbových plánech, aby byla spolehlivost co nejvyšší. Vyhodnoceny byly také důvody rozdílů ve výsledcích sledovaných spolehlivosti u jednotlivých vozidel.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

FILÁK, M. Determination of reliability and modification of truck maintenance system: Master thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of mechanical engineering, Institut of transport, 2020, 80 p. Thesis head: Famfulík, J.

In this master thesis, the reliability of heavy trucks Belaz 7547 and Tatra 158 Phoenix in the LB Cemix Kotouč Štramberk limestone quarry was assessed. Firstly, the theory of reliability and methods for its calculation were briefly described. The practical part was divided into two parts. In the first part, the reliability of whole vehicles and all their components were determined and compared. In the second part, some modifications were proposed to existing maintenance plans. The reasons for differences in the results between both types of vehicles were described as well.

## PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou děkuji vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Janu Famfulíkovi, Ph.D. za pomoc, odborné rady a cenné připomínky při vypracovávání této práce. Děkuji také firmě LB Cemix Kotouč Štramberk a jmenovitě panu Petru Jurákovi za poskytnutí nezbytných podkladů, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. Velký dík náleží též rodině, kamarádům a blízkým za trpělivost a podporu během celého studia.

# OBSAH

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	11
Úvod .....	13
1 Historie.....	14
1.1 Historie lomu Kotouč Štramberk .....	14
1.1.1 Kotouč Štramberk .....	14
1.1.2 Lasselsberger .....	15
1.1.3 LB Cemix .....	16
1.2 Historie Tatra .....	16
1.3 Historie Belaz.....	17
2 Vozový park a dispozice lomu.....	18
2.1 Vozový park.....	18
2.1.1 Belaz 7547 .....	18
2.1.2 Tatra Phoenix.....	19
2.2 Konstrukční celky .....	21
2.2.1 Motor .....	21
2.2.2 Převodové ústrojí .....	21
2.2.3 Podvozek .....	21
2.2.4 Brzdy .....	21
2.2.5 Elektronika.....	21
2.3 Dispozice lomu .....	22
3 Výpočetní metody pro stanovení spolehlivosti vozidel.....	23
3.1 Základní terminologie .....	23
3.1.1 ČSN ISO 9000:2000 .....	23
3.1.2 ČSN IEC 50 (191).....	23
3.1.3 Objekt .....	24
3.2 Teorie spolehlivosti.....	25
3.2.1 Vlastnosti náhodné veličiny.....	25
3.2.2 Náhodný jev.....	26
3.2.3 Rozptyl a střední hodnota.....	26



3.2.4	Histogram četnosti .....	27
3.2.5	Hustota pravděpodobnosti .....	27
3.2.6	Distribuční funkce .....	28
3.2.7	Doplněk distribuční funkce .....	28
3.2.8	Intenzita poruch náhodné veličiny .....	29
3.3	Vybraná rozdělení používaná ve spolehlivosti .....	29
3.3.1	Exponenciální rozdělení .....	30
3.3.2	Weibullovo rozdělení .....	31
3.4	Odhad parametrů Weibullova rozdělení lineární regresí .....	33
3.5	Chí kvadrát test dobré shody .....	35
3.6	Kolmogorov – Smirnovův test pro jeden výběr .....	35
4	Zpracování a vyhodnocení experimentálních dat .....	36
4.1	Struktura a popis experimentálních dat .....	36
4.1.1	Belaz – zakázkový list .....	36
4.1.2	Tatra – zakázkový list .....	36
4.1.3	Souhrn dat do tabulek .....	37
4.2	Výpočet poruchovosti vozidel .....	38
4.2.1	Stanovení parametrů rozdělení .....	38
4.2.2	Posuzování vozidla dle spolehlivosti .....	41
4.2.3	Chí kvadrát test dobré shody .....	42
4.2.4	Kolmogorov – Smirnovův test pro jeden výběr .....	45
4.3	Zjištěná poruchovost vozidel .....	47
4.3.1	Belaz 1 .....	48
4.3.2	Belaz 2 .....	49
4.3.3	Belaz 3 .....	50
4.3.4	Belazy – flotila .....	51
4.3.5	Tatra 1 .....	52
4.3.6	Tatra 2 .....	53
4.3.7	Tatry – flotila .....	54
4.4	Hodnocení jednotlivých konstrukčních celků .....	55
4.4.1	Motor .....	55

4.4.2	Převodové ústrojí .....	56
4.4.3	Podvozek .....	57
4.4.4	Brzdy .....	58
4.4.5	Elektronika.....	59
4.4.6	Celé vozidlo .....	60
4.5	Využití vozidel.....	61
4.5.1	Převezený materiál.....	61
4.5.2	Spotřeba PHM.....	62
4.5.3	Měrná spotřeba.....	63
5	Návrh úprav systému údržby .....	64
5.1	Belaz.....	64
5.1.1	Stávající systém údržby.....	64
5.1.2	Návrh úprav .....	65
5.1.3	Kontrola před jízdou.....	65
5.1.4	Týdenní kontrola – údržba I. stupně .....	66
5.1.5	Měsíční kontrola – údržba II. stupně.....	66
5.2	Tatra.....	68
5.2.1	Stávající systém údržby.....	69
5.2.2	Návrh úprav .....	70
5.2.3	Kontrola před jízdou.....	70
5.2.4	Týdenní kontrola – údržba I. stupně .....	71
5.2.5	Měsíční kontrola – údržba II. stupně.....	71
6	Shrnutí.....	72
6.1	Shrnutí problematiky.....	72
6.2	Zhodnocení .....	72
	Závěr.....	73
	Seznam použitých informačních zdrojů .....	74
	Seznam tabulek .....	76
	Seznam obrázků .....	76
	Seznam příloh .....	78

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

$\alpha$	[-]	Parametr Weibullova dvoupametrického rozdělení pro MS Excel
$\beta$	[-]	Parametr Weibullova dvoupametrického rozdělení pro MS Excel
$\Gamma$	[-]	Eulerova gamma funkce
$\lambda(t)$	[-]	Intenzita poruch náhodné veličiny
$\lambda_e(t)$	[-]	Intenzita poruch v závislosti na počtu poruch a čase
$\mu$	[-]	Střední hodnota náhodné veličiny
$\sigma$	[-]	Rozptyl náhodné veličiny
$\chi^2$	[-]	Chí kvadrát
$A1$	[-]	Substituční výpočet pro Kolmogorov – Smirnova
$A2$	[-]	Substituční výpočet pro Kolmogorov – Smirnova
$B1$	[-]	Substituční výpočet pro Kolmogorov – Smirnova
$B2$	[-]	Substituční výpočet pro Kolmogorov – Smirnova
$c$	[h]	Parametr polohy
$e$	[-]	Eulerovo číslo
$E(x)$	[-]	Exponenciální rozdělení
$f(t)$	[-]	Hustota distribuční funkce
$F(t)$	[-]	Distribuční funkce
$F(x_{obs})$	[-]	Hodnota funkce v bodě testového kritéria
$Fi(m)$	[-]	Mediánové pořadí
$h$	[-]	Počet odhadovaných parametrů
$H_0$	[-]	Nulová hypotéza
$H_1$	[-]	Alternativní hypotéza
$HD$	[-]	Zpřísněný servisní interval Heavy Duty
$i$	[-]	Počet poruch
$j$	[-]	Pořadí poruchy
$k$	[-]	Parametr přímky
$K-S$	[-]	Kolmogorov – Smirnov (metoda kontroly souboru dat)
$m$	[-]	Parametr tvaru
$Mth$	[-]	Motohodiny
$n$	[-]	Počet stupňů volnosti
$N_p$	[-]	Celkový počet poruch
$P$	[-]	Pravděpodobnost
$q$	[-]	Parametr přímky
$R^2$	[-]	Koeficient determinace
$R(t)$	[-]	Doplňek distribuční funkce
$STD$	[-]	Standardní servisní interval

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

---

$subs\ Y$	[-]	Substituce pro osu Y
$t$	[h]	Časová proměnná
$t_0$	[h]	Parametr měřítka
$T$	[-]	Náhodná veličina
$T_s$	[dny]	Střední doba do poruchy
$W_{2p}$	[-]	Weibullovo dvouparametrické rozdělení
$W_{3p}$	[-]	Weibullovo tříparametrické rozdělení
$x$	[-]	Souřadnice v ose x
$x_{krit}$	[-]	Kritická hodnota
$x_{obs}$	[-]	Testové kritérium
$y$	[-]	Souřadnice v ose y

## Úvod

Vápencový lom Kotouč Štramberk má zvučné jméno nejen v České republice, ale také v zahraničí, protože spadá pod nadnárodní skupinu Lasselsberger a má dlouhou tradici. Kromě těžké lomové techniky se v tomto lomu využívají také vozidla Belaz 7547 a Tatra Phoenix, která jsou svou stavbou poměrně odlišná, ale plní podobné úkoly a jsou nasazovány do každodenního provozu. Pro lepší hospodaření každé společnosti je dobré znát jak si která vozidla vedou po stránce nákladů, spolehlivosti, spotřeb PHM, atp. Takovéto výsledky též mohou pomoci při rozhodování o nákupu nových vozidel.

Tato diplomová práce je zaměřena na posouzení spolehlivosti jak samotných vozidel a jejich konstrukčních částí, tak také na porovnání jednotlivých vozidel mezi sebou.

V úvodní teoretické části je zmíněno pár informací z historie lomu a výrobců sledovaných a porovnávaných vozidel. Dále jsou popsána jednotlivá vozidla, konstrukční celky a ve zkratce také samotný lom. Na konci teoretické části jsou vymezeny jednotlivé pojmy používané při určování spolehlivosti a popsány jednotlivé veličiny, které se objevují v dalších částech této práce.

Druhá část této diplomové práce je praktická a je zaměřena již na samotnou analýzu získaných dat ze záznamů poruch a servisních úkonů. Po analýze dat přichází na řadu porovnání jednotlivých konstrukčních celků mezi vozidly, celých vozidel a také spotřeb a převezeného množství nákladu.

V závěru práce je zpracován návrh změn předepsaných servisních plánů jednotlivých vozidel vzhledem k jejich nasazení a výskytům poruch, aby tato vozidla vykazovala co nejmenší poruchovost a byla pracovně co možná nejvýkonnější.

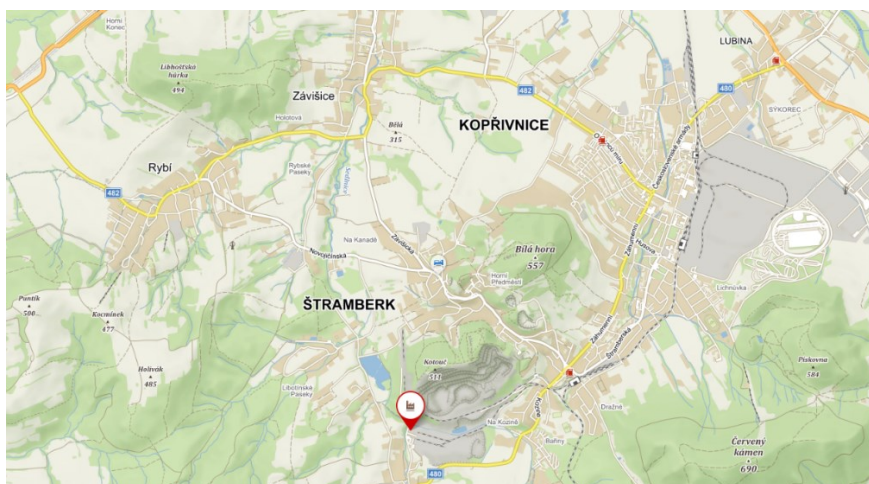
# 1 HISTORIE

## 1.1 HISTORIE LOMU KOTOUČ ŠTRAMBERK

### 1.1.1 KOTOUČ ŠTRAMBERK

Štramberk má bohatou geologickou historii, protože po celém jeho území se nacházelo mnoho malých lomů, které postupem času zanikaly, spojovaly se a přetvářely se v ten nynější. V roce 1881 koupila rakouská firma bratrů Guttmannů jižní polovinu kopce Kotouč nacházejícího se přímo u Štramberka (Obr. 1), kde započali s povrchovou těžbou vápence pro využití v hutnictví.

Počátkem 20. století byl výrobní program obohacen o produkci cementu z nedaleké cementárny a v 50. a 60. letech 20. století byly kruhové pece pro pálení vápna nahrazeny pecemi šachtovými. [1]



Obr. 1 - Mapa: Kotouč Štramberk [2]

Od roku 1945 spadl lom Kotouč Štramberk pod Vítkovické železářny, přičemž v roce 1993 došlo k vyčlenění lomu do společnosti KOTOUČ ŠTRAMBERK, spol. s r.o. Mezi roky 1993 a 2019 docházelo k různým změnám vlastníků, neboť v první fázi byly Vítkovické železářny stále jediným vlastníkem, po které následovalo poměrně krátké období pod vedením UNI – SHV, spol. s r.o., resp. skupiny fyzických osob. V říjnu roku 1995 odkoupila lom firma Cementárny a vápenky, Prachovice a.s., která Kotouč Štramberk v roce 1997 prodala slovenské společnosti HIROCEM, a.s., od které v září 1998 lom převzala česká firma ČEZ.

Společnost ČEZ v roce 2000 prodala část podílu společnosti Calofrig, přičemž tento podíl ke konci roku 2004 přešel na společnost Lasselsberger, která převzala jmění a zakázky po zanikajícím Calofrigu. Lasselsberger měl původně minoritní podíl, ale postupem času, na úkor ČEZu, odkoupil další podíl až na majoritní hodnotu 75 % v roce 2005 a v polovině

roku 2006 se stal Lasselsberger stoprocentním vlastníkem. V krátkém období mezi lety 2007 a 2008 byla jediným vlastníkem maďarská firma ZALAKERÁMIA Zártkörűen Működő Részvénytársaság Zalaegerszeg, která také patřila od skupiny Lasselsberger. Následně se vlastníkem opětovně stala česká firma Lasselsberger se sídlem v Plzni a 7. prosince 2017 přešel Kotouč Štramberský do majetku firmy LB Cemix, která také patří do skupiny Lasselsberger. Finálně firma Kotouč Štramberský zanikla k 1. lednu 2019 spojením s mateřským LB Cemix. [1]

Název Kotouč tedy dává vzpomenout na nyní již jen polovinu kopce, který odděluje samotný lom od centra Štramberska s mnoha historickými a kulturními památkami. Lom je od samotného centra vzdálen přibližně kilometr. Kotouč kdysi tvořily dva vrcholy oválného tvaru s jedním sedlem, které dohromady připomínaly kotouč a dosahovaly výšky 539 m n.m. Dle zaměření z roku 1943 bylo možné zaznamenat jen severní vrch, protože ten jižní byl již odtěžen. Podle dobových popisů bylo kolem celého kopce opevnění a rozlohu celého hradiska lze už jen odhadovat na přibližnou hodnotu 13 hektarů. V současné době se těžba na lokalitě značně podepsala (Obr. 2), ale výhledově se nevylučuje úplné vytěžení lomu, následná rekultivace a založení chráněné oblasti. [1]



*Obr. 2 - Pohled na lom (autor)*

### 1.1.2 LASSELSBERGER

Historie skupiny Lasselsberger sahá do roku 1957, kdy byla firma založena rakušanem Antonem Lasselsbergerem se zaměřením na pískovec a šterky. V roce 1967 byla spuštěna první betonárna a od 90. let 20. století se podnikání rozmáhá ve větším objemu díky zahájení podnikání v Maďarsku, společnému podniku s firmou Knauf a dalším podnikům na Maltě, na Slovensku a v Rumunsku. V letech 1998 až 2002 skupina Lasselsberger převzala přední české společnosti zabývající se keramikou (Rako, Keramika Horní Bříza, Chlumčanská keramická). V letech 2003 a 2004 byly převzaty přední výrobní závody dlaždic v Maďarsku, na Slovensku a v Rumunsku. Po odprodeji výrobních linek mimo hlavní obor a rozdělení skupiny na tři divize se zaměřením na keramiku, nerosty a stavební materiály, došlo k otevření několika poboček v Rusku. Postupem času firma modernizovala výrobní kapacity ve všech závodech a také investovala v České republice včetně převzetí lomu Kotouč Štramberský. [3]

### 1.1.3 LB CEMIX

LB Cemix může čerpat z historie sahající až do roku 1891, kdy vedení vybudovalo první výrobní závod. Od roku 1992 se suché maltové a omítkové směsi vyrábí pod značkou Cemix. Roku 2002 došlo ke spojení s velkou firmou Calofrig, která již v tu dobu byla součástí skupiny Lasselsberger. LB Cemix je tedy aktuálně součástí jednoho z nejvýznamnějších dodavatelů stavebních materiálů v Evropě. [4]

## 1.2 HISTORIE TATRA

Tatra je v současnosti jediným tradičním českým výrobcem těžkých nákladních vozidel s historií zasahující do roku 1850, kdy v obci Nesselsdorf živnostník Ignác Šustala vyráběl povozy a drožky. Za dob Rakousko-Uherska došlo k formování firmy Ignatz Schustala & Corp (založena 1858) kapitalizací za pomoci bankéřů Guttmanů, kteří z ní učinili Nesselsdorfer Wagenbau Fabriks Gesellschaft. Po Šustalově smrti přebíral vedení společnosti Hugo Fischer von Röslerstamm pod jehož vedením ve firmě s úspěchem vyráběli železniční vagony. Potomci Ignáce Šustaly neměli přílišný zájem v rozvoji firmy a na protest proti praktikám vedení akciové společnosti prodali své podíly a založili vlastní firmu známou pod dnešním názvem Vagónka Studénka. Hugo Fischer se zasloužil o uskutečnění stavby prvního automobilu se spalovacím motorem v Rakousko-Uhersku a celkově střední Evropě (Obr. 3).

Také díky Theodoru von Liebiegovi dodal Karl Benz do Kopřivnice v roce 1897 jeden z prvních dvouválcových spalovacích motorů. Nedlouho poté už Tatra vyrobila svůj první osobní vůz Präsident a o rok později, tedy roku 1898 Tatra vyrobila také svůj první nákladní automobil Tatra NW 1898.



*Obr. 3 - Počátky výroby vozidel Tatra [5]*

Sériová výroba nákladních vozidel započala v druhé polovině 20. let 20. století. Značka Tatra se na vozidlech objevila kolem roku 1920 také zásluhou Hanse Ledwinky, který zkonstruoval dnes již tradiční podvozkovou strukturu nákladních vozidel Tatra.



Mezi roky 1918 a 1945 docházelo k přerodu společnosti v národní podnik Tatra. Tatra poté prošla ještě dalšími organizačními změnami se změnou politického režimu a také po prodejních neúspěších. Tatra v roce 2011 představila inovovanou nabídkou vozidel splňující přísné emisní limity, ale zachovávající si unikátní vlastnosti v terénu a velké možnosti přizpůsobení podvozkové skupiny od konfigurace 4x4 s odpojitelným předním pohonem až po konfiguraci 12x12 s řiditelnými zadními nápravami.

Páteřním výrobním programem je modelová řada Phoenix, která vznikla za spolupráce s nizozemskou automobilkou DAF Trucks N.V. Tato spolupráce započala v roce 2011. Výrobní program doplňuje také zakázková produkce speciálních vozidel na základech řad T815-7 a TERRN<sup>o</sup>1 a vojenské speciály pro logistiku T810. [5]

### 1.3 HISTORIE BELAZ

Běloruský výrobce těžkých nákladních vozidel má také poměrně dlouhou historii, neboť výrobu prvního modelu BelAZ 540 spustil 14. září 1961 na výrobní lince v Žodinu nedaleko Minsku. Úplná historie firmy se však píše již od roku 1946, kdy bylo rozhodnuto Hospodářskou radou Sovětského svazu o vybudování výrobního závodu vozidel pro těžbu rašeliny. Po zahájení výstavby továrny v roce 1948 mohla o dva roky později začít produkce vozidel, kterými byly nejprve kropicí vůz a nákladní automobil MAZ-525 s tonáží (nosností) přibližně 25 tun následovaný typem MAZ-530 s doložností 40 tun. Značka BelAZ, která je zkratkou „Běloruského automobilového závodu,“ tedy vznikla přetvořením firmy MAZ. Model Belaz 540 (Obr. 4) sbíral mnoho ocenění i například na veletrhu v Lipsku v roce 1965, proto následovaly inovace modelu 540 v podobě modelů 548A a 549. V roce 1977 firma představila první z velkých nákladních vozidel 7519 s nosností až 120 tun. Poté Belaz vyrobil také letištní tahač a pokračoval v produkci převážně nákladních vozidel pro provoz v lomech. [6],[7],[8]



*Obr. 4 - Belaz 540 [7]*

## 2 VOZOVÝ PARK A DISPOZICE LOMU

Tato kapitola je věnována popisu sledovaného vozového parku a popisu dispozic lomu, kde se vozidla pohybují.

### 2.1 VOZOVÝ PARK

V lomu Kotouč Štramberk jsou k dispozici vozidla Belaz 7547 a Tatra 158 Phoenix. Flotila Belazů čítá tři vozidla a flotila Tater obsahuje dva zástupce s dostatečným počtem záznamů.

#### 2.1.1 BELAZ 7547

Belaz 7547 je inovací modelu 7540 a jedná se o těžký nákladní vůz vybavený korbou pro přepravu hornin po silnicích a v lomech. Výrobce doporučuje kombinaci těchto vozidel s rypadly a nakladači s kapacitou lžice 8 – 10 m<sup>3</sup> pro optimální zaplnění korby, která je schopna pojmout náklad dle jeho hustoty až do hmotnosti 45 tun. Belaz 7547 je sériově vybaven přeplňovaným vidlicovým dvanáctiválcovým vznětovým motorem YaMZ-240NM2 z Ruské produkce, ale v LB Cemix Kotouč Štramberk jezdí tato vozidla s, na zakázku osazenými, výkonnějšími osmiválcovými motory Deutz BF 8 M 1015C (Obr. 5).



*Obr. 5 - Motor Deutz BF 8 M 1015C [9]*

Motor Deutz BF 8M 1015C disponuje vrtáním 132 mm a zdvihem 145 mm, jedná se tedy o nadčtvercový motor o zdvihovém objemu 15,9 litrů. Kompresní poměr činí 16,5:1. Maximálního výkonu 440 kW (598 koní) tento agregát dosahuje při 2100 min<sup>-1</sup> a maximálního krouticího momentu 2720 Nm při 1300 min<sup>-1</sup>. Suchá hmotnost motoru činí 1060 kg a v pohonném ústrojí je doplněn hydrostatickým převodem s pěti rychlostmi vpřed a dvěma vzad. Motor Deutz je oproti ruskému konkurentovi výkonnější, úspornější, lehčí a plní vyšší emisní normu EURO II. [9]

Zadní náprava je pevná s pevným hlavním převodem s kuželovými diferenciály a planetovými koly. Odpružení je pneumohydraulické. Brzdy jsou vzduchové na nožní ovládání a pohonné ústrojí je doplněno hydrodynamickým retardérem jakožto pomocnou brzdou.

Pohotovostní hmotnost činí 33100 kg a maximální provozní hmotnost je 78100 kg. Maximální dosažitelná rychlost je 50 km/h a poloměr otáčení je roven 10,2 metrů.

Belaz 7547, zachycený na Obr. 6, je dlouhý 8090 mm, široký 4110 mm a vysoký 4390 mm. Je vybaven pneumatikami o rozměru 21.00R35. [10]



*Obr. 6 - Belaz 7547 [11]*

### 2.1.2 TATRA PHOENIX

Tatra Phoenix s číselným označením 158 je řada nákladních vozidel převážně pro civilní účely a vyrábí se od roku 2011, kdy Tatra zahájila spolupráci s nizozemským výrobcem DAF. Výjimečnost Tatry Phoenix tkví především v tradiční podvozkové koncepci s centrální nosnou rourou s možností pohonu všech kol a s nezávisle odpruženými a hluboce výkyvnými polonápravami. Tato koncepce poskytuje téměř bezkonkurenční krutové a ohybové vlastnosti společně s výbornými vlastnostmi v provozu a terénu. Phoenix (Obr. 7) je vybavován přeplňovanými řadovými šestiválcovými vznětovými motory PACCAR MX 11 a 13. [12]



*Obr. 7 - Tatra Phoenix [12]*

Motory PACCAR MX dodává nizozemský DAF a tyto motory o zdvihových objemech 10,8 a 12,9 litrů a kompresním poměru 17,5:1 disponují výkony 271 kW (369 koní) při 1650 min<sup>-1</sup> až 375 kW (510 koní) při 1425 – 1750 min<sup>-1</sup> a krouticími momenty 1580 Nm při 1000 – 1650 min<sup>-1</sup> až 2500 Nm při 1000 – 1425 min<sup>-1</sup>. Pohonné ústrojí doplňuje šestnáctistupňová převodovka ZF a to buď manuálně řazená nebo automatizovaná. Na přání je dodáván přímo od ZF také retardér. Spojka je u manuální verze ovládána hydraulicky se vzduchotlakým posilovačem a u automatizované verze je ovládána plně elektronicky. Za převodovku je zařazena ještě jedno- nebo dvoustupňová převodovka, která zajišťuje přenos hnacího momentu do útroby páteřové roury. Tato sestupná převodovka má výstup pro připojitelný přední pohon s možností výstupu pomocného pohonu. Všechny tyto motory plní nejnovější emisní normy Euro VI. [13]

Vozidla Tatra 158 v LB Cemix Kotouč Štramberk jsou osazena motory Paccar MX-13 340 (Obr. 8), které disponují výkonem 340 kW, resp. 462 koní a maximálním krouticím momentem 2300 Nm.



*Obr. 8 - Paccar MX-13 [14]*

Tatry Phoenix disponují podvozky v několika konfiguracích:

- 4x4 s rozvorem 3700 mm, 4090 mm nebo 4500 mm a poloměrem otáčení 16,5 m a celkovou hmotností do 20 t,
- 6x6 s rozvory 3440, 3900 nebo 4500 + 1320 mm, poloměrem otáčení 18,5 m, pohotovostní hmotností 9800 kg a maximální hmotností 30, 35 nebo 40 t,
- 8x8 s rozvory 2150 + 2300 mm (nebo 2950 mm) + 1320 mm a poloměrem otáčení 21,5 m s pohotovostní hmotností 11500 kg a maximální přípustnou hmotností 44 nebo 50 t.

Základními rozměry pneumatik je 315/80 R22,5 a při jejich použití je světlá výška podvozku 300 mm, výška středů kol nad vozovkou 500 mm a přední najížděcí úhel 31°. [15]

## 2.2 KONSTRUKČNÍ CELKY

Vzhledem k využití vozidel a dostupným záznamům o poruchách a servisních úkonech byl celkový počet sledovaných a zkoumaných konstrukčních celků snížen na pět základních, kterými jsou motor, převodové ústrojí, podvozek, brzdy a elektronika. Právě v těchto kategoriích docházelo, dle prvotních pozorování, k největšímu počtu poruch, a navíc jsou tyto konstrukční celky těmi nejdůležitější při spolehlivém provozu vozidel v lomu. U ostatních konstrukčních částí jako např. hydraulika atp. nedocházelo k tak četným poruchám, aby je bylo možné zahrnout do celkových výpočtů.

### 2.2.1 MOTOR

Do kategorie motor se řadí kromě samotného pohonného agregátu také příslušenství pohonné jednotky jako přeplňování, rozvody, chladiče, palivové vedení atp., protože vše výše zmíněné se podílí na chodu motoru. Do kategorie je zahrnuta mimo jiné také mazací a chladicí soustavu agregátu, výměny jejich náplní atp.

### 2.2.2 PŘEVODOVÉ ÚSTROJÍ

Do konstrukčního celku nazvaného převodové ústrojí v této práci spadá kromě převodovky také spojka, rozvodovka, diferenciály, poloosa, komponenty hydrostatického mechanismu a další součásti, které se přímo starají o přenos hnacího momentu od motoru dále ke kolům.

### 2.2.3 PODVOZEK

Podvozek v tomto případě zahrnuje nejen zavěšení kol, pružení a kola jako taková, ale i nosný rám, stabilizátory a díly náprav, které umožňují pohyb vozidla, zajišťují jeho stabilitu a tvoří základní nosné prvky pro korby, kabiny a další nástavby.

### 2.2.4 BRZDY

Do této kategorie patří vše, co náleží k brzdám od vzduchojemů, přes tlakové vedení a obložení až po brzdové bubny.

### 2.2.5 ELEKTRONIKA

Tento konstrukční celek je poměrně obsáhlý, protože zahrnuje všechnu použitou elektroniku od osvětlení, ovladačů, elektrických rozvodů až po elektrické vybavení kabiny. Zahrnuta je zde také řídicí jednotka a další logické obvody.



## 2.3 DISPOZICE LOMU

V lomu se začalo s těžbou už před rokem 1900 a dodnes se zde těží vápenec a další horniny. Lom (Obr. 9) se dnes již nerozrůstá do ploch, a naopak byly započaty v některých jeho částech rekultivační práce. Po odtěžení přibližně poloviny kopce Kotouč si někteří obyvatelé Štramberka stěžují na velké otřesy, proto ani tímto směrem nebude těžba pokračovat. Těžba tedy probíhá již jen na stále stejné ploše, a především do hloubky. Aktuálně je lom na své 10. etáži (patře) a do budoucna se plánuje také s 11. etáží, která by se přiblížila maximální možné vytěžitelnosti lomu. [16]

Po každém odstřelu jsou velké kusy horniny převáženy vozidly Belaz a Tatra k drtičkám, od kterých pak materiál putuje dále k uskladnění. Vozidla obou typů jsou plně využívána a v tomto lomu mají podobné nájezdy za podobné časové období. Denně najedou vozidla 55 – 60 km, což odpovídá přibližně 6,5 – 7 motohodinám. Belazy jsou primárně určeny pro vyšší etáže, naopak Tatry operují v nižších etážích lomu.



*Obr. 9 - Letecký pohled na lom [16]*

### 3 VÝPOČETNÍ METODY PRO STANOVENÍ SPOLEHLIVOSTI VOZIDEL

Pro správné pochopení všech výpočtů z dalších kapitol je třeba specifikovat potřebnou teorii problematiky spolehlivosti.

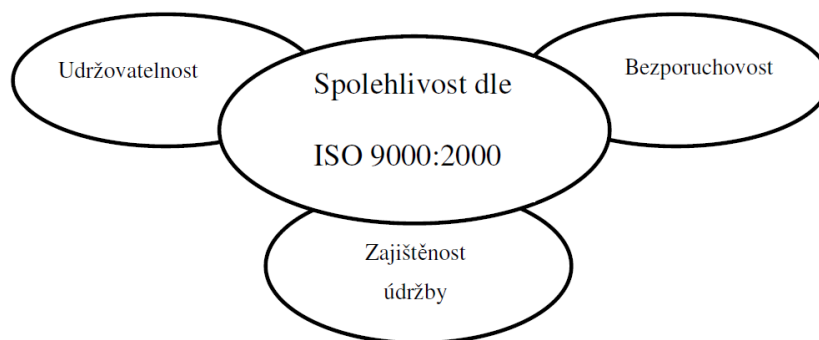
#### 3.1 ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE

Spolehlivost lze hodnotit dle dvou norem ČSN ISO 9000:2000 A ČSN IEC 50 (191), kdy každá používá trochu odlišnou terminologii.

##### 3.1.1 ČSN ISO 9000:2000

V této normě (Obr. 10) je spolehlivost souhrnným termínem, který je používán pro popis pohotovosti a činitelů, které danou úroveň spolehlivosti ovlivňují [17]

- **Bezporuchovost** – Schopnost objektu zajistit nepřetržité plnění požadovaných úkonů a funkcí za předem definovaných podmínek a za určitý čas.
- **Udržovatelnost** – Schopnost objektu za definovaných podmínek využití setrvat nebo se vrátit do takového stavu, ve kterém je schopen dále provádět požadované úkony a funkce za podmínek předepisovaných servisních postupů a úkonů s předepsanými prostředky.
- **Zajištěnost údržby** – Schopnost servisní organizace zabezpečit za dané situace prostředky potřebné pro údržbu ve shodě s konceptem údržby.



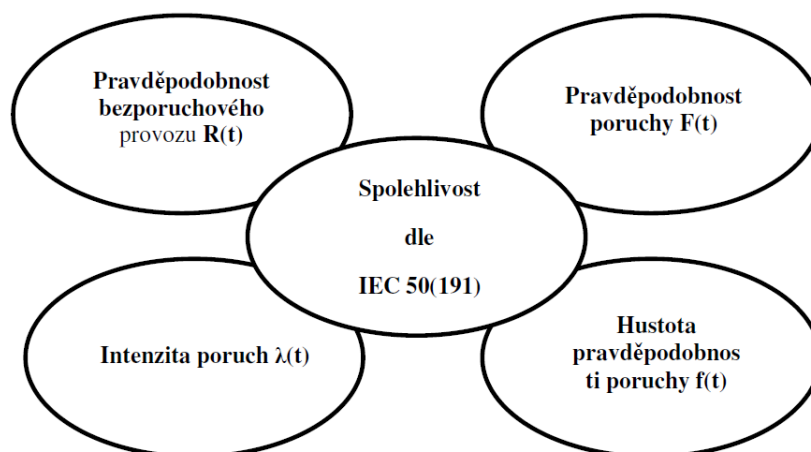
Obr. 10 - ISO 9000:2000 [17]

##### 3.1.2 ČSN IEC 50 (191)

V této normě je spolehlivost vyjádřena pravděpodobností provozu bez poruch, jedná se tedy o pravděpodobnost, kdy bude daný objekt schopen plnit potřebnou funkci v daném čase a za daných podmínek a od této pravděpodobnosti lze odvodit další navazující charakteristiky.

V normě ČSN IEC 50 (191) graficky naznačené na Obr. 11, která se v této práci vyskytuje nejčastěji, jsou definovány ještě další pojmy týkající se bezporuchovosti a údržby. [17]

- **Porucha** – Úplná nebo částečná ztráta schopnosti prvku vykonávat definované funkce. V případě omezení schopnosti provozu se dle stanovených podmínek provozu rozhoduje, zda se už jedná o poruchu.
- **Doba do první poruchy** – Jedná se o celkovou dobu provozu objektu od prvotního uvedení do provozu až po první výskyt poruchy.
- **Doba mezi poruchami** – Jedná se o čas mezi nastalými dvěma následujícími poruchami totožného objektu,
- **Doba údržby** – Jedná se o čas potřebný pro provedení požadovaného servisního zásahu. Do tohoto času patří i všechna technologická a logistická zpoždění.
- **Údržba** – Kombinace všech administrativních a technických úkonů včetně dozoru, které jsou zaměřeny na údržbu objektu, aby setrval anebo se navrátil do funkčního stavu. V potaz je brána preventivní údržba i údržba po poruše.
- **Preventivní údržba** – Jedná se o údržbu, která se provádí v předem definovaných intervalech nebo dle specifikovaných kritérií. Tato údržba slouží ke snížení pravděpodobnosti výskytu poruchy.
- **Údržba po poruše** – To je údržba, která následovala po poruše a slouží ke znovuvvedení objektu do funkčního stavu.
- **Pohotovost** – Jedná se o schopnost objektu být za daných podmínek ve stavu, kdy je schopen plnit požadované úkony v daném okamžiku a za předpokladu, že jsou splněny všechny vnější podmínky.



Obr. 11 - IEC 50 (191) [17]

### 3.1.3 OBJEKT

Objektem se rozumí kterákoliv část, součást, zařízení, přístroj, část systému a celek, kterými je možno se individuálně zabývat a v psaném textu se většinou pojem objekt nahrazuje přesnějším označením dané součásti, tedy rám, motor, převodovka atp.

Po poruše lze objekty opravit nebo vyměnit. V prvním případě se tedy jedná o opravovaný objekt a v tom druhém o objekt neopravovaný. U opravovaného objektu za provozu se sledují jednotlivé poruchy a obnovy až objekt dospěje do mezního stavu, kdy je třeba jej nahradit. Oproti tomu neopravovaný se po poruše neopravuje, tudíž je jeho čas do první poruchy roven meznímu stavu a zároveň době užitečného života.



Pro objekty platí, že pojem spolehlivost zahrnuje popis pohotovosti a činitelů, které danou spolehlivost ovlivňují, tedy bezporuchovost, udržovatelnost a zajištění údržby.

Dále můžeme, kromě již výše uvedených vlastností objektu, viz předchozí odrážky, definovat také různé stavy objektu. [18]

- **Provozní stav** – Je to stav, kdy objekt plní požadované funkce.
- **Prostoj** – Jedná se o časový úsek, kdy objekt neplní požadované funkce a nerozlišujeme z jakého důvodu, jen registrujeme fakt, že například výrobní stroj nepracuje. K prostoji může dojít vlivem pravidelné údržby, poruchou, logistickým nezabezpečením, ale také v případě, kdy objekt není aktuálně potřeba.
- **Použitelný stav** – Jedná se o obdobu pohotovosti, kdy objekt je připraven plnit funkci a za splnění vnějších podmínek ji také plní.
- **Poruchový stav** – Jedná se o stav, kdy objekt není schopen plnit požadované funkce ať už z důvodu např. preventivní údržby, dalších plánovaných operací nebo čekáním na další vnější zdroje. Opakem poruchového stavu je stav bezporuchový.
- **Neprovozuschopný stav** – Tento stav je všeobecným označením, kdy objekt z jakéhokoliv důvodu není schopen plnit svou funkci. Neprovozuschopný stav můžeme dále dělit podle toho, zda jej způsobily vnější nebo vnitřní příčiny. Při neprovozuschopném stavu z vnějších příčin je stroj v použitelném stavu, ale nejsou splněny vnější podmínky pro plnění funkce. U neprovozuschopného stavu s vnitřní příčinou je stroj buď v poruchovém stavu nebo je prováděna preventivní údržba.

## 3.2 TEORIE SPOLEHLIVOSTI

Teorie spolehlivosti zahrnuje prvky z matematické pravděpodobnosti a statistiky, díky čemuž můžeme popisovat a analyzovat náhodné jevy, v tomto případě poruchy a obnovy. Všeobecně je spolehlivost objektů závislá na rozhodnutích v prvních fázích životnosti, protože například zanedbaná údržba v počátku se negativně podepíše na životnosti a spolehlivosti po celou dobu nasazení v provozu. Ve zkratce jsou dále přiblíženy jednotlivé pojmy spolehlivosti, které se v této práci vyskytují. [17]

### 3.2.1 VLASTNOSTI NÁHODNÉ VELIČINY

Životnost a spolehlivost lze určit pomocí zkoušek spolehlivosti, u kterých se sleduje a posuzuje například délka technického života. Tyto zkoušky jsou poměrně nákladné, časově náročné a u vozidel, jejichž život končí znehodnocením a většinou značnou nefunkčností, nedávají tyto zkoušky smysl. Lepším způsobem, a v této práci použitým, je vycházení z údajů o poruchách, opravách a jejich příčinách. Metoda zvolená v této práci vyžaduje pouze řádně vedený záznamový systém. [17]

### 3.2.2 NÁHODNÝ JEV

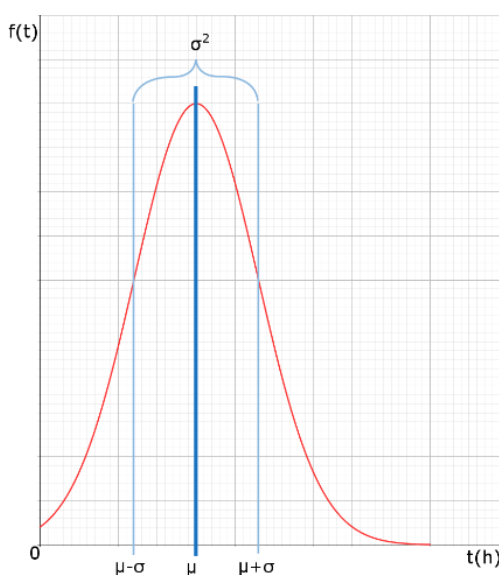
Náhodný jev značí výskyt sledované události, v tomto případě výskyt poruchy u sledovaného vozidla. Náhodný jev lze dále rozdělit na:

- **Jistý** – Jistý jev nastane vždy, i při opakované realizaci, při dodržení stejných podmínek.
- **Nemožný** – Nemožný jev je opakem jistého, tedy takové jev, který při dodržení stejných podmínek nenastane nikdy.
- **Náhodný** – Při dodržení stejných podmínek je opravdu náhodný a nelze zaručit, zda při opakované realizaci nastane nebo ne. Je nastává s konstantní nebo proměnnou pravděpodobností.
- **Chaotický** – Jedná se o odlišnou kategorii, kterou se nezabýváme, protože se výskyt těchto jevů neřídí žádným snadno popsatelem způsobem.

V této práci se v záznamech vyskytují převážně jevy jisté a náhodné. Jako jistý jev lze brát plánované výměny dílů a pravidelnou údržbu a jako náhodné zase ty nepředvídatelné. [17]

### 3.2.3 ROZPTYL A STŘEDNÍ HODNOTA

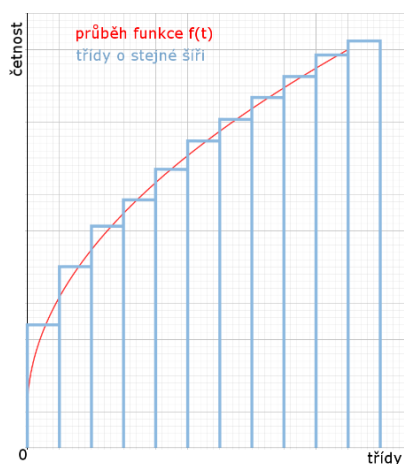
Při sledování náhodného jevu jsou data zaznamenávána ve velkém rozsahu, který je potřeba následně zpracovat, aby bylo možné určit vypovídající informace o sledovaných veličinách. Protože jsou výskyty jevu často náhodné, je třeba provést určitý počet měření a ty adekvátně zprůměrovat a brát v potaz střední hodnotu  $\mu$  a rozptyl  $\sigma$ , který je intervalem rozkládajícím se na obě strany od střední hodnoty (Obr. 12). V případě nezohlednění rozptylu by stačilo pouze jedno měření, které by mohlo vykazat chaotický jev, tedy například nesmyslně nízkou hodnotu časové proměnné  $t$  a celé měření by následně bylo nevypovídající a zkreslené. [17]



Obr. 12 - Rozptyl a střední hodnota (autor)

### 3.2.4 HISTOGRAM ČETNOSTI

Díky histogramu četnosti lze zobrazit průběh náhodné veličiny. Používá se pro zobrazení rozdělení absolutních i relativních četností, například doby mezi poruchami. Výšky sloupců histogramu četnosti reprezentují četnost dané zaznamenané veličiny. Sloupce bývají stejně široké a reprezentují intervaly daných tříd. U spojitých veličin lze histogram četností nahradit hustotou pravděpodobnosti  $f(t)$  (Obr. 13). Kumulativní histogram četnosti může pro změnu nahradit distribuční funkci  $F(t)$ . [17]

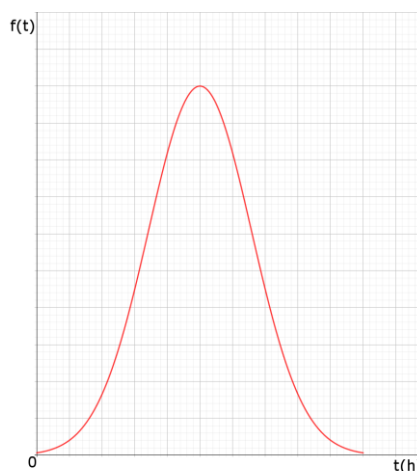


Obr. 13 - Histogram četnosti (autor)

### 3.2.5 HUSTOTA PRAVDĚPODOBNOSTI

Hustota pravděpodobnosti je funkce, která vyjadřuje pravděpodobnost, že náhodná veličina  $T$  nabývá hodnot z infinitezimálně malého intervalu  $dt$  (Obr. 14). Hustota pravděpodobnosti je vždy nezáporná.

$$f(t) = \frac{\partial F(t)}{\partial t} \quad (3.1)$$



Obr. 14 - Hustota pravděpodobnosti (autor)

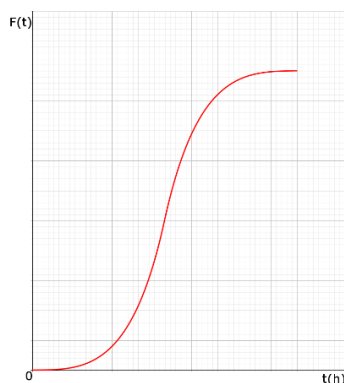
### 3.2.6 DISTRIBUČNÍ FUNKCE

Distribuční funkce  $F(t)$  vyjadřuje pravděpodobnost, se kterou náhodná veličina  $T$  nabývá hodnoty menší nebo rovné hodnotě  $t$ . Distribuční funkce je vždy nezáporná, náleží do intervalu  $<0,1>$  a není klesající. Mezi hustotou pravděpodobnosti a distribuční funkcí platí vztah:

$$F(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt \quad (3.2)$$

tedy, že hustota pravděpodobnosti je derivací distribuční funkce  $F(t)$  podle času. Při pohledu na grafický průběh distribuční funkce lze odhadnout, že v místech, kde je růst nejstrmější, bude nejčastější výskyt poruch. To je vlastně přenesený význam derivace distribuční funkce, která jakožto hustota pravděpodobnosti, jak je výše zmíněno, graficky značí pomyslnou četnost výskytu poruch v daném intervalu.

V této práci je pozorována doba mezi poruchami, proto se jedná o pravděpodobnost poruchy výrobku v čase  $t$  značenou  $F(t)$ , jak je patrné na Obr. 15. [17]

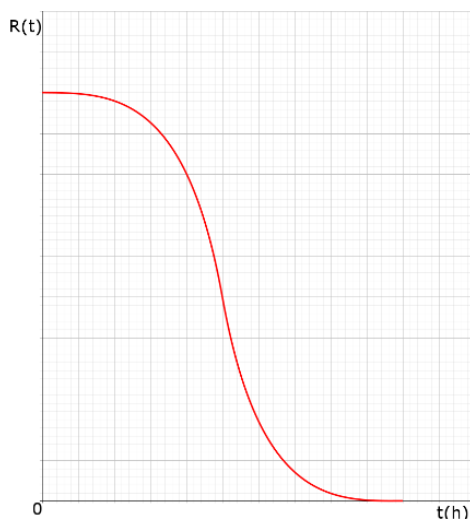


Obr. 15 - Distribuční funkce (autor)

### 3.2.7 DOPLNĚK DISTRIBUČNÍ FUNKCE

Protože distribuční funkce nabývá hodnot v intervalu  $<0,1>$ , existuje také doplněk k distribuční funkci  $F(t)$  (Obr. 16), který je dopočtem do jedné a lze jej považovat za pravděpodobnost bezporuchového stavu. Doplněk distribuční funkce je označován  $R(t)$  a platí pro něj vztah:

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad (3.3)$$



Obr. 16 - Doplněk distribuční funkce (autor)

Na grafech je patrné, že nejen matematicky, ale i graficky součet distribuční funkce a doplňku je vždy roven jedné. [17]

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (3.4)$$

### 3.2.8 INTENZITA PORUCH NÁHODNÉ VELIČINY

Intenzita poruch náhodné veličiny je podílem hustoty pravděpodobnosti a doplňku distribuční funkce. Je to tedy pravděpodobnost výskytu poruchy během nekonečně malého časového okamžiku  $dt$  za podmínky, že daná porucha do té doby ještě nenastala.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (3.5)$$

Intenzitu poruch lze vyjádřit také jako podíl celkového počtu poruch  $N_p$  a času  $t$ . [17]

$$\lambda_e(t) = \frac{N_p}{t} \quad (3.6)$$

## 3.3 VYBRANÁ ROZDĚLENÍ POUŽÍVANÁ VE SPOLEHLIVOSTI

Soubor dat získaný ze sledování je diskrétní náhodná veličina a pro lepší práci je třeba tuto veličinu popsat obecně známou rovnicí. Pro tento účel se používá několik rozdělení a úkolem je rozhodnout kterému rozdělení spojitě veličiny je získaný soubor dat nejpodobnější. Případně je nutné dopočítat parametry zvoleného rozdělení tak, aby výsledná křivka co nejvíce odpovídala souboru dat, kupříkladu histogramu četnosti těchto dat.

### 3.3.1 EXPONENCIÁLNÍ ROZDĚLENÍ

Exponenciální rozdělení je vhodné použít u aplikací, kde k výskytu poruch dochází s konstantní intenzitou. V reálu to jsou objekty, u kterých se objeví porucha bez návaznosti na opotřebení, tedy čistě náhodně po celou dobu životnosti.

Exponenciální rozdělení je určeno jediným parametrem  $\lambda$ , což je intenzita poruch. Hustota pravděpodobnosti  $f(t)$  exponenciálního rozdělení má klesající průběh (Obr. 17) a lze ji vyjádřit vztahem:

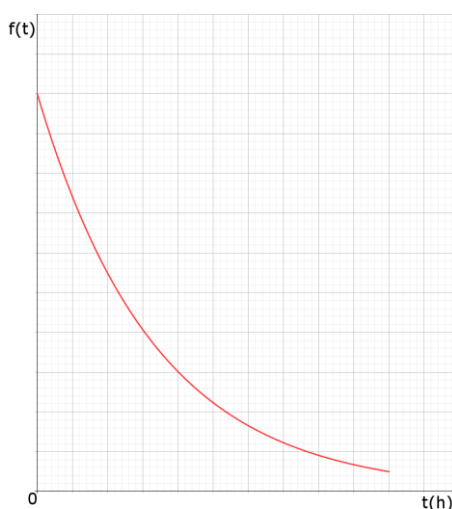
$$f(t) = \lambda \cdot e^{(-\lambda \cdot t)} \quad (3.7)$$

za podmínek (zp.)  $\lambda > 0, t \geq 0$

kde:

$\lambda$  – intenzita poruch [1/h]

$t$  – hodnota náhodné veličiny  $T$  [h]

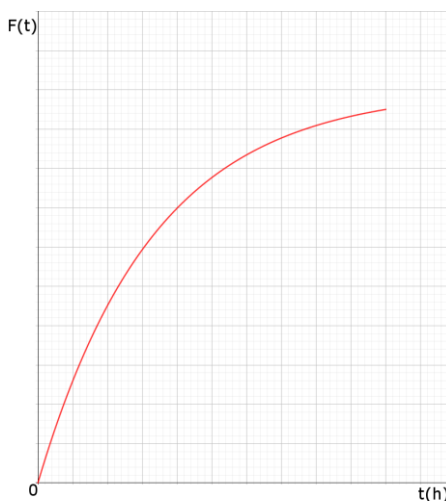


Obr. 17 - Hustota pravděpodobnosti exponenciálního rozdělení (autor)

Na Obr. 18 je znázorněn průběh distribuční funkce exponenciálního rozdělení, která je definována vztahem:

$$F(t) = 1 - e^{(-\lambda \cdot t)} \quad (3.8)$$

zp.  $\lambda > 0, t \geq 0$



Obr. 18 - Distribuční funkce exponenciálního rozdělení (autor)

Exponenciální rozdělení disponuje pravděpodobností bezporuchovosti v rychle klesajícím exponenciálním tvaru a jeho střední hodnota (někdy označována jako střední doba do poruchy) je ve tvaru převrácené hodnoty parametru  $\lambda$ . [17]

$$R(t) = e^{(-\lambda \cdot t)} \quad (3.9)$$

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} \quad (3.10)$$

Pro tuto práci není exponenciální rozdělení, z důvodu předpokladu závislosti na stáří, vhodné, proto bylo využito lépe vyhovující – Weibullovo rozdělení.

### 3.3.2 WEIBULLOVO ROZDĚLENÍ

Weibullovo rozdělení je pro spolehlivost mnohdy vhodnější než exponenciální rozdělení, což je i případ výpočtů provedených v této práci. Weibullovo rozdělení se vyznačuje značnou variabilitou, která při vhodné změně parametrů dokáže nahrazovat, a s dostatečnou přesností i aproximovat, jiná rozdělení (např. exponenciální, normální). [17]

Weibullovo rozdělení, resp. jeho distribuční funkci v základním tvaru určují tři parametry a toto rozdělení je označováno jako W3p:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-c}{t_0}\right)^m} \quad (3.11)$$

$$zp. t \geq 0, m > 0, t_0 > 0, c \geq 0$$

kde:

$t$  – hodnota náhodné veličiny  $T$  [s]

$m$  – parametr tvaru [-]

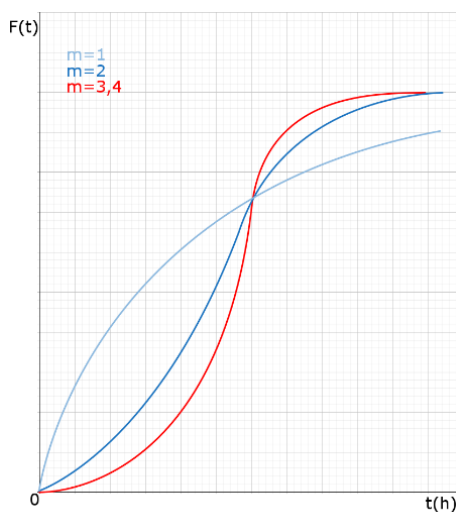
$t_0$  – parametr měřítka [s]

$c$  – parametr polohy [s]

Od složitého tříparametrického Weibullova rozdělení lze odvodit rozdělení dvouparametrické značené W2p, které je pro potřeby této práce dostačující. W2p se také vyznačuje jednoduchostí dopočítávání jednotlivých parametrů, protože oproti W3p odpadá parametr polohy  $c$ . Předpis distribuční funkce dvouparametrického Weibullova rozdělení je uveden níže a jeho grafický průběh na Obr. 19, kde lze také pozorovat odlišné průběhy křivek při použití tří odlišných parametrů  $m$  ( $m = 1, m = 2, m = 3,4$ ) a parametr  $t_0 = 1$ .

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.12)$$

$$\text{zp. } t \geq 0, m > 0, t_0 > 0$$



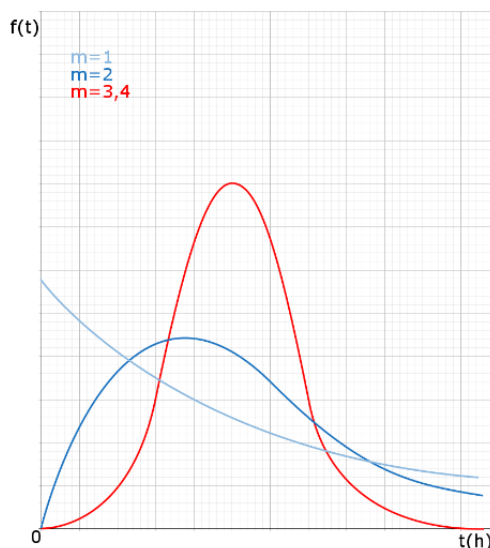
Obr. 19 - Distribuční funkce W2p v závislosti na parametru  $m$  (autor)

Hustota pravděpodobnosti Weibullova dvouparametrického rozdělení je definována následujícím vztahem a na Obr. 20 je graficky naznačena změna při použití různých hodnot parametru  $m$ .

$$f(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.13)$$

$$\text{zp. } t \geq 0, m > 0, t_0 > 0$$





Obr. 20 - Hustota pravděpodobnosti W2p v závislosti na parametru  $m$  (autor)

Pravděpodobnost bezporuchovosti a střední hodnota W2p jsou vyjádřeny vztahy:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.14)$$

$$E(T) = t_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (3.15)$$

kde:

$\Gamma$  – Eulerova gamma funkce [-]

Jak již bylo zmíněno výše, Weibullovým rozdělením lze dostatečně přesně nahradit jiná rozdělení. K tomu je třeba pouze změnit parametr  $m$ :

- $m=1$  – exponenciální rozdělení
- $m=2$  – Rayleighovo rozdělení
- $m=3,43$  – Gaussovo normální rozdělení

### 3.4 ODHAD PARAMETRŮ WEIBULLOVA ROZDĚLENÍ LINEÁRNÍ REGRESÍ

Dle výše zmíněných důvodů bylo v této práci použito Weibullovo dvouparametrické rozdělení, pro které bylo nutné zjistit příslušné parametry. K tomu byla zvolena metoda lineární regrese, kdy rovnice výsledné přímky tvaru

$$y = k \cdot x + q \quad (3.16)$$

byla převedena na parametry W2p. Pro proložení přímky daty byla použita metoda nejmenších čtverců, tedy minimalizace součtu druhých mocnin vzdálenosti bodů a přímky.

Také bylo potřeba posoudit věrohodnost regresní (proložené) přímky, proto bylo využito indexu determinace  $R^2$ , jehož hodnota vypovídá o rozptýlenosti bodů od přímky. Index determinace nabývá hodnot  $<0;1>$  a čím blíže je jeho hodnota k jedné, tím je přímka přesnější aproximací prokládaných hodnot. O přesné predikci hodnot závislé proměnné lze hovořit, pokud index determinace dosáhl alespoň hodnoty 0,9. Pokud by se index determinace blížil nule, data by bylo možné označit za chaotická a neřídící se žádným rozdělením. [17]

Zde je postup transformace distribuční funkce W2p do tvaru přímky:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.17)$$

$$1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} / \ln$$

$$\ln[1 - F(t)] = -\left(\frac{t}{t_0}\right)^m / \ln$$

$$\ln \{\ln[1 - F(t)]\} = m \cdot \ln\left(\frac{t}{t_0}\right)$$

$$\ln\{\ln[1 - F(t)]\} = m \cdot \ln(t) - m \cdot \ln(t_0) \quad (3.18)$$

Tedy pro osy  $x$  a  $y$  platí:

$$x = \ln(t) \quad (3.19)$$

$$y = \ln \{-\ln[1 - Fi(m)]\} \quad (3.20)$$

Mediánové pořadí  $Fi(m)$  pro rovnici 3.20 se vypočítá dle rovnice 3.21:

$$Fi(m) = \frac{j_i - 0,3}{j + 0,4} \quad (3.221)$$

Z výše uvedeného odvození vyplývá, že hodnotu parametru  $m$  bylo možno položit rovnu směrnici přímky  $k$  a parametr  $t_0$  následně vypočítat dle dalších vztahů:

$$q = -m \cdot \ln(t_0) \quad (3.22)$$

$$t_0 = e^{\left(-\frac{q}{m}\right)} \quad (3.23)$$

Aby bylo možné provést intervalový odhad Weibullova rozdělení, musí být data seřazena vzestupně v souřadnicích  $x = \ln(t)$  a  $y = \ln \{-\ln[1 - Fi(m)]\}$ . [19]

### 3.5 CHÍ KVADRÁT TEST DOBRÉ SHODY

Kromě indexu determinace bylo zapotřebí matematického důkazu, který by potvrdil správnost volby, proto je třeba provést test dobré shody. Chí kvadrát test dobré shody porovnává empirická data s těmi teoretickými a určuje nakolik byl výběr rozdělení správný.

Nejprve je třeba určit předpoklad s jakou pravděpodobností bude nulová hypotéza chybná (většinou pravděpodobnost 0,05 nebo 0,01). Jako nulová hypotéza je určeno tvrzení, že testovaný soubor dat s určitou pravděpodobností (95% nebo 99%) odpovídá dvouparametrickému Weibullovu rozdělení se získanými parametry. [17]

### 3.6 KOLMOGOROV – SMIRNOVŮV TEST PRO JEDEN VÝBĚR

V případech, kdy je malý soubor měření, resp. celkově malý počet záznamů, není možné uskutečnit Chí kvadrát test dobré shody. U dvouparametrických rozdělení pravděpodobnosti, kam se řadí i W2p, je potřeba mít alespoň čtyři třídy po alespoň pěti záznamech, tedy minimálně dvacet záznamů. Pro menší počty záznamů je vhodnou volbou test Kolmogorov – Smirnov, pro který je dostačující mnohem menším počet záznamů, protože nevyhodnocuje teoretickou četnost v rámci třídy, jako je tomu u Chí kvadrátu, ale bere v potaz teoretickou četnost pro každý záznam.

Vzhledem k rozsahům dat pro jednotlivá vozidla bylo pro vozidla Belaz použito testování dat pomocí Chí kvadrát testu dobré shody a pro vozidla Tatra byl použit test Kolmogorov – Smirnov.

## 4 ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH DAT

Tato kapitola je první praktickou kapitolou této práce a je zaměřena na jednotlivé výpočty potřebné k posouzení jednotlivých spolehlivostí, resp. středních dob do poruchy. Analyzována byla jak experimentální data jednotlivých vozidel a jejich jednotlivých konstrukčních skupin, tak také souhrnně za celou flotilu daného typu vozidel. Jednotlivá vozidla jsou mezi sebou také porovnávána z pohledu nájezdů a spotřeb PHM.

Vozidla lze považovat za porovnatelná, protože absolvují totožné denní nájezdy 55 – 60 km, při přepočtu přibližně 6,5 – 7 motohodin. Belazy i Tatry absolvují kromě stejných nájezdů také profilově téměř identické trasy uvnitř lomu. Podle výše uvedeného lze tvrdit, že jsou na oba typy vozidel kladeny stejné nároky a jsou provozovány za stejných provozních podmínek.

### 4.1 STRUKTURA A POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH DAT

Experimentální data byla pro jednotlivé typy vozidel získávána z rozdílných zdrojů a bylo je potřeba převést do přehlednější tabulkové podoby pro lepší orientaci. Všechny záznamy oprav pochází od servisních organizací. Pro Belazy je touto organizací firma Hájek a Synové, a.s. se sídlem v Jakubčovicích nad Odrou a vozy Tatra servisuje oficiální servisní středisko Tatra Trucks a.s. se sídlem v Kopřivnici. V přílohách A a B jsou pro ukázkou prezentovány náhodné zakázkové listy s popisem jednotlivých záznamů. V tabulce 1 jsou vypsány náhodné záznamy ilustrující podobu dat po převedení ze zakázkových listů do softwaru MS Excel.

#### 4.1.1 BELAZ – ZAKÁZKOVÝ LIST

Zakázkové listy Belazů obsahují kromě specifikace daného vozu (1) a jeho aktuálního stavu motohodin (2) také samotné servisní úkony (3), datum opravy (4), jednotlivé servisované komponenty (5) i časové trvání celé opravy (6). Ukázkový zakázkový list Belaz je v příloze A na konci této práce.

#### 4.1.2 TATRA – ZAKÁZKOVÝ LIST

Zakázkové listy Tater jsou poněkud jiného vzhledu, ale obsahují opět jen ty stejné potřebné informace – označení vozidla (1), kilometrový nájezd (2), datum vykonání opravy (3) a servisované součásti (4). Uvedeny jsou zde ještě další údaje jako například datum prodeje vozidla (5). ). Ukázkový zakázkový list Tatra je v příloze B na konci této práce.

### 4.1.3 SOUHRN DAT DO TABULEK

Jednotlivé zakázkové listy bylo potřeba přepsat a následně roztřídit. V tabulce 1 je ukázka, jak vypadaly záznamy ze zakázkových listů již roztříděné k jednotlivým vozům se záznamem data opravy, najetými kilometry nebo motohodinami (dále mth), stručným popisem servisního úkonu a přiřazením čísla určujícího danou konstrukční skupinu. Na úvod bylo nutné rozdělit celé vozidlo na kategorie 1 – 8 (1 – Motor, 2 – Převodovka, 3 – Podvozek, 4 – Kabina, 5 – Korba, 6 – Hydraulika, 7 – Brzdy, 8 – Elektronika) a dále pak pracovat s daty dle číselného označení. Některé kategorie bylo nutné vynechat vzhledem k minimálnímu počtu záznamů, proto bylo ve výsledku zohledněno maximálně pět konstrukčních skupin, u některých vozidel však vzhledem k počtu záznamů jen tři. S přibývajícím časem bude počet záznamů narůstat, proto po jisté době bude možné u všech vozidel vypočítat a porovnat větší počet konstrukčních skupin, ale nyní to není možné.

*Tabulka 1 - Převezené záznamy ze zakázkových listů do tabulky (autor)*

BELAZ č. 2			BELAZ 7547 D
mth	Datum	Konstrukční skupina	Popis
9110	28.07.2015	1	Výměna sahary
9110	28.07.2015	2	Únik oleje
9488	06.11.2015	8	Magnetická cívka
9488	06.11.2015	2	Řazení převodových stupňů
9488	06.11.2015	1	Únik chladicí kapaliny
9754	28.01.2016	1	Výměna chladičů
9961	18.05.2016	1	Filtry, olej
9961	18.05.2016	2	Oprava řazení
9963	26.05.2016	2	Únik oleje
9963	26.05.2016	3	Seřízení tlumičů
9965	27.05.2016	2	Panel řazení
10050	01.07.2016	2	Kontrola
10111	15.09.2016	8	Počítadlo motohodin
10111	15.09.2016	1	Olej, filtry
10111	15.09.2016	2	Olej, filtry
10143	29.09.2016	3	Tlumič, čep
10154	24.10.2016	2	Diferenciál
10154	24.10.2016	1	Mezichladič
10154	24.10.2016	7	Ventil ruční brzdy

## 4.2 VÝPOČET PORUCHOVOSTI VOZIDEL

Ze souhrnných tabulek poruch bylo potřeba jednotlivé kategorie poruch osamostatnit a dále s nimi pracovat. Rozhodující byly jen intervaly mezi poruchami, ze kterých byly vypočítány parametry Weibullova dvouparametrického rozdělení a střední doby do poruchy  $T_s$ .

### 4.2.1 STANOVENÍ PARAMETRŮ ROZDĚLENÍ

Pro získání parametrů  $W2p$  je zapotřebí mít záznamy seřazené vzestupně a aplikovat vzorce z kapitoly 3.4. Jednotlivé grafy pro proložení přímkou nelze vykreslit pouze ze surových hodnot pořadí poruchy  $j$  a časového intervalu  $t$ , viz Tabulka 2. Tyto hodnoty je zapotřebí přepočítat na hodnoty mediánového pořadí  $Fi(m)$ , přirozeného logaritmu času a substitute pro osu  $Y$  *subs*  $Y$ .

Osa  $x$  v grafech reprezentuje logaritmus času a osa  $y$  vztah počítající s mediánovým pořadím. Níže je názorný výpočet jedné z hodnot při posuzování všech sledovaných konstrukčních celků pro Belaz 1 a následně v Tabulce 3 soupis všech vypočítaných hodnot.

Tabulka 2 - Záznam poruch všech sledovaných konstrukčních skupin pro Belaz 1 (autor)

j	t
1	24
2	51
3	72
4	72
5	84
6	90
7	94
8	135
9	172
10	174
11	213
12	226
13	234
14	250
15	305
16	340
17	398

$$F_i(m) = \frac{j_i - 0,3}{j + 0,4}$$

$$F_8(m) = \frac{j_8 - 0,3}{j + 0,4} = \frac{8 - 0,3}{17 + 0,4} = 0,442529$$

$$X_i = \ln(t_i)$$

$$X_8 = \ln(t_8) = \ln(135) = 4,905275$$

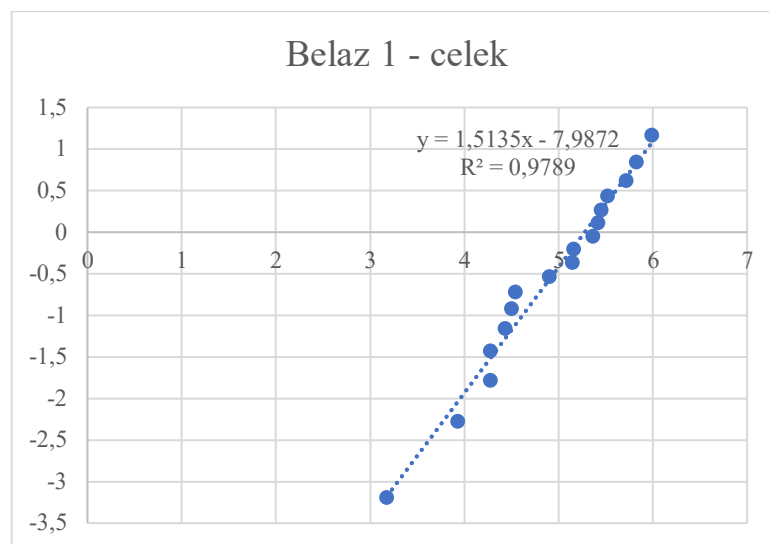
$$Y_i = \ln\{-\ln[1 - Fi(m)]\}$$

$$Y_8 = \ln\{-\ln[1 - Fi(m)]\} = \ln\{-\ln[1 - 0,442529]\} = -0,53726$$

Tabulka 3 - Tabulka vypočtených hodnot  $j$ ,  $t$ ,  $Fi(m)$ ,  $\ln(t)$  a subs  $Y$  (autor)

j	t	Fi(m)	ln(t)	subs Y
1	24	0,04023	3,178054	-3,19268
2	51	0,097701	3,931826	-2,27488
3	72	0,155172	4,276666	-1,78009
4	72	0,212644	4,276666	-1,43098
5	84	0,270115	4,430817	-1,1556
6	90	0,327586	4,49981	-0,92412
7	94	0,385057	4,543205	-0,72108
8	135	0,442529	4,905275	-0,53726
9	172	0,5	5,147494	-0,36651
10	174	0,557471	5,159055	-0,20426
11	213	0,614943	5,361292	-0,04671
12	226	0,672414	5,420535	0,109754
13	234	0,729885	5,455321	0,269193
14	250	0,787356	5,521461	0,437053
15	305	0,844828	5,720312	0,622305
16	340	0,902299	5,828946	0,844082
17	398	0,95977	5,986452	1,16725

Po vypočítání potřebných hodnot a vytvoření grafů byla vykreslenými body proložena přímka, jejíž rovnice je uvedena v Obr. 21.



Obr. 21 - Záznamy dat "Belaz 1 - celek" proložená přímkou s vypsáním její rovnice (autor)

Parametry přímky  $k$  a  $q$  ( $k = 1,5135$  a  $q = -7,9872$ ) z rovnice 3.16 jsou podklady k výsledným parametrům pro dvouparametrické Weibullovo rozdělení daného souboru experimentálních dat. Je tedy patrné, že:

$$k_{(\text{přímka})} = m_{(W2p)} \quad (4.1)$$

a parametr měřítka  $t_0$  lze vypočítat dle vztahu 3.22 :

$$t_0 = e^{-\frac{q}{m}}$$

Pak výsledky W2p pro tento soubor dat jsou:

$$m_{(W2p)} = k_{(\text{přímka})} = 1,5135$$

$$t_{0(W2p)} = e^{-\frac{q}{m}} = e^{-\frac{-7,9872}{1,5135}} = 195,841$$

Prvotní posouzení výsledných hodnot parametrů lze posoudit dle hodnoty determinace  $R^2 = 0,9789$ , která náleží intervalu  $<0,9;1>$ , tento výsledek lze tedy označit za dostatečně reprezentativní. Získané parametry W2p jsou uvedeny v tabulce 4 a průběh distribuční funkce získaného rozdělení je znázorněn na Obr. 22.

Tabulka 4 - Získané parametry W2p (autor)

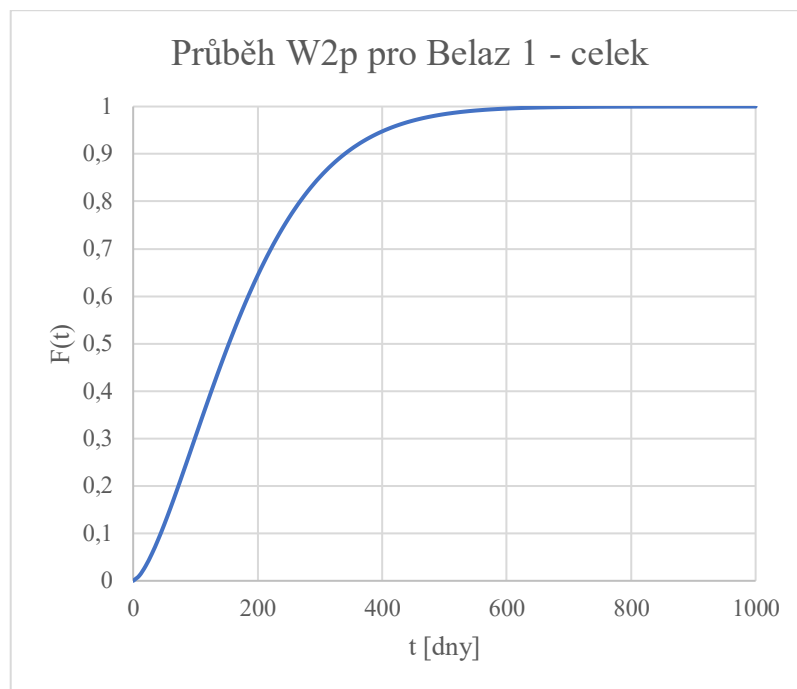
$m=k=\alpha$	$q$	$t_0=\beta$
1,5135	-7,9872	195,8412



S výše získanými parametry jsou rovnice W2p následující:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{195,841}\right)^{1,5135}}$$

$$f(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} = \frac{1,5135}{195,841} \cdot \left(\frac{t}{195,841}\right)^{1,5135-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{195,841}\right)^{1,5135}}$$



Obr. 22 - Průběh distribuční funkce W2p pro Belaz 1 – celek (autor)

#### 4.2.2 POSUZOVÁNÍ VOZIDLA DLE SPOLEHLIVOSTI

Měřítkem pro posouzení spolehlivosti byla v této práci zvolena hodnota střední doby do poruchy. Tato hodnota je porovnatelná napříč jednotlivými vozidly a jejím prostřednictvím je možné také posuzovat jednotlivé konstrukční skupiny.

Pro výpočet střední doby do poruchy z Weibullova dvouparametrického rozdělení byl použit vzorec (3.15), kterým byl za pomoci Eulerovy gamma funkce a dvou již dříve získaných parametrů  $m$  a  $t_0$  zjištěn požadovaný výsledek.

$$E(T) = t_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)$$

$$E(T) = 195,841 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,5135}\right) = 176,6 \text{ dnů}$$

V tabulce 5 jsou k dosud vypočítaným hodnotám připojeny i parametry W2p.

Tabulka 5 - Tabulka výsledků pro Belaz 1 – celek (autor)

	$m=k=\alpha$	$q$	$t_0=\beta$	$Ts1$
Celek	1,5135	-7,9872	195,8412	176,6
j	t	Fi(m)	ln(t)	subs Y
1	24	0,04023	3,178054	-3,19268
2	51	0,097701	3,931826	-2,27488
3	72	0,155172	4,276666	-1,78009
4	72	0,212644	4,276666	-1,43098
5	84	0,270115	4,430817	-1,1556
6	90	0,327586	4,49981	-0,92412
7	94	0,385057	4,543295	-0,72108
8	135	0,442529	4,905275	-0,53726
9	172	0,5	5,147494	-0,36651
10	174	0,557471	5,159055	-0,20426
11	213	0,614943	5,361292	-0,04671
12	226	0,672414	5,420535	0,109754
13	234	0,729885	5,455321	0,269193
14	250	0,787356	5,521461	0,437053
15	305	0,844828	5,720312	0,622305
16	340	0,902299	5,828946	0,844082
17	398	0,95977	5,986452	1,16725

#### 4.2.3 CHÍ KVADRÁT TEST DOBRÉ SHODY

V kapitole 4.2.1 bylo zmíněno prvotní posouzení vypovídací schopnosti dat pomocí hodnoty determinace  $R^2$ , což však slouží jen pro úvodní přehled, zda přímka proložená grafem dostatečně přesně aproximuje jednotlivé body. Pro přesnější posouzení souboru dat vozidel Belaz byl použit Chí kvadrát test dobré shody, který posuzuje, zda data odpovídají určenému rozložení, tedy že výsledné Weibullovo rozložení se získanými parametry odpovídá souboru dat.

Jako pro každý test, i zde bylo nejprve potřeba definovat nulovou hypotézu  $H_0$  a alternativní hypotézu  $H_1$ . V celé této práci bylo nulovou hypotézou tvrzení, že testovaný soubor dat s pravděpodobností 0,95 odpovídá dvouparametrickému Weibullovu rozdělení s dříve vypočtenými parametry  $m$  a  $t_0$ . Alternativní hypotéza byla negací nulové hypotézy, tedy že testovaný soubor dat s pravděpodobností 0,95 neodpovídá dvouparametrickému Weibullovu rozdělení s dříve získanými parametry  $m$  a  $t_0$ . Až po definování nulové a alternativní hypotézy a určení hladiny významnosti  $\alpha$  (v mém případě 0,05) bylo možné postoupit k samotnému testování dat pomocí Chí kvadrátu.

Pro tento test bylo zapotřebí statisticky rozdělit záznamy do tříd s minimální četností 5 a určit počet četností v každé třídě. Následně určit pravděpodobnost výskytu střední hodnoty v dané třídě vypsáním distribuční funkce pro horní meze každé třídy a odečtením od hodnoty distribuční funkce v předchozí třídě. Vynásobením pravděpodobnosti výskytu střední hodnoty a počtem záznamů testovaného souboru bylo získáno dílčí testové kritérium, které po sečtení určilo hodnotu testového kritéria  $x_{obs}$ . Distribuční funkce pro Weibullovo rozdělení byla získána v softwaru MS Excel pomocí příkazu „=WEIBULL.DIST=(x; alfa; beta; kumulativní)“, kde  $x$  reprezentovalo hodnotu, ve které byla vyčíslena distribuční funkce; *alfa* reprezentovala parametr  $m$ ; *beta* reprezentovala parametr  $t_0$  a kumulativní pro 1 znamenala výpočet kumulativní distribuční funkce a pro 0 znamenala výpočet hustoty pravděpodobnosti.

Pro rozhodnutí o hypotézách však musela být také stanovena kritická hodnota  $x_{krit}$ , která byla zjištěna z tabulek Chí kvadrátu nebo bylo možné shodnou hodnotu získat v MS Excel příkazem „=CHIINV(pravděpodobnost; volnost)“. Pro určení Chí kvadrátu bylo potřeba znát hodnotu pravděpodobnosti  $\alpha$ , která byla známá již z nulové hypotézy a počet stupňů volnosti, který bylo možno získat ze vzorce:

$$n = k_t - h - 1 \quad (4.2)$$

kde:

$n$  – počet stupňů volnosti

$k_t$  – počet tříd, do kterých jsou data rozdělena

$h$  – počet odhadovaných parametrů (pro W2p  $h=2$ )

Z tohoto tedy plyne, že je potřeba alespoň čtyři třídy, aby zůstal alespoň jeden stupeň volnosti.

Postup jednoho testování souboru dat, postup mezivýpočtů a soupis do tabulky 6 je uveden zde:

- Definování nulové (předpokládané) hypotézy  $H_0$  – Testovaný soubor dat Belaz 2 – celek s pravděpodobností 0,95 odpovídá dvouparametrickému Weibullovo rozdělení s parametry  $m = 1,3408$  a  $t_0 = 186,155$ .
- Definování alternativní hypotézy  $H_1$ , která je negací nulové hypotézy.
- Seřazení dat vzestupně, návrh vhodného počtu tříd (minimálně čtyři) a určení meze tříd tak, aby byla četnost v každé třídě alespoň 5. Horní mez náleží do třídy, dolní mez a +nekonečno do třídy nenáleží.

- Sepsání jednotlivých sledovaných četností v daných třídách a kontrola jejich součtu, aby odpovídal celkové četnosti souboru dat.
- Vypočet hodnoty distribuční funkce pro horní mez každé třídy zápisem „=WEIBULL.DIST(x; alfa; beta; kumulativnost)“.
- Pravděpodobnost je rozdíl dané hodnoty distribuční funkce a hodnoty distribuční funkce horní meze předchozí třídy.
- Teoretická četnost je součin pravděpodobnosti a celkové četnosti (v tomto případě 42).
- Dílčí testové kritérium se řídí vzorcem:

$$\text{dílčí testové kritérium} = \frac{(\text{sledovaná četnost} - \text{teoretická četnost})^2}{\text{teoretická četnost}} \quad (4.3)$$

- Součet dílčích testových kritérií udává výsledek  $x_{obs}$ .
- Kritická hodnota  $x_{krit}$  je získána zápisem „=CHIINV(pravděpodobnost; volnost)“.
- Porovnání hodnot  $x_{obs}$  a  $x_{krit}$ . Pokud  $x_{obs} > x_{krit}$ ,  $H_0$  je zamítnuta ve prospěch  $H_1$ . Pokud  $x_{obs} < x_{krit}$ , tak  $H_0$  není zamítnuta. V ukázkovém případě platí druhá nerovnice, tedy bylo možné říci, že tento testovaný soubor dat odpovídá  $W2p$  s parametry  $m = 1,3408$  a  $t_0 = 186,155$  (Tabulka 7).

Tabulka 6 - Tabulka výpočtů  $\chi^2$  test dobré shody pro soubor dat Belaz 2 – celek (autor)

třída	dolní mez	horní mez	četnost	distr. fce	pst	teor. četnost	test. krit.
1	0	50	8	0,157688237	0,157688	6,622905965	0,286337748
2	50	100	6	0,352516168	0,194828	8,182773082	0,582259618
3	100	150	8	0,526975313	0,174459	7,32728411	0,061761856
4	150	200	8	0,667448831	0,140474	5,899887756	0,747551753
5	200	310	6	0,862121868	0,194673	8,176267522	0,57925457
6	310	+nekon	6	1	0,137878	5,790881564	0,007551617

Tabulka 7 - Výsledek výpočtů  $\chi^2$  test dobré shody pro soubor dat Belaz 2 – celek (autor)

xobs....	2,264717163
xkrit 0,05	7,814727903
xobs < xkrit	
H0 nezamítám	

**4.2.4 KOLMOGOROV – SMIRNOVŮV TEST PRO JEDEN VÝBĚR**

Pokud je soubor dat malý (dle výše uvedených důvodů méně než 20 záznamů), je zapotřebí data otestovat jiným způsobem. Pro data týkající se vozidel Tatra byl zvolen Kolmogorov – Smirnovův test pro jeden výběr, kterým bylo kontrolováno, podobně jako výše aplikovaným  $\chi^2$  testem dobré shody, zda získané Weibullovo rozdělení skutečně odpovídá sledovanému vzorku dat.

Níže je uveden postup testování jednoho souboru dat dle Kolmogorov – Smirnovova testu pro jeden výběr. Některé části byly podobné jako u předchozího testu.

- Definování nulové (předpokládané) hypotézy  $H_0$  – Testovaný soubor dat Belaz 1 – celek s pravděpodobností 0,95 odpovídá dvouparametrickému Weibullovu rozdělení s parametry  $m = 1,5135$  a  $t_0 = 195,155$ .
- Definování alternativní hypotézy  $H_1$ , která je negací nulové hypotézy.
- Výpočet jednotlivých mezivýpočtů  $A1$ ,  $A2$ ,  $B1$  a  $B2$  dle následujících vzorců a zapsání výsledků do tabulky 8:

$$A1 = \frac{i}{n} \quad (4.4)$$

$$A2 = \frac{(i-1)}{n} \quad (4.5)$$

$$B1 = \left| F(x) - \frac{(i-1)}{n} \right| \quad (4.6)$$

$$B2 = \left| F(x) - \frac{i}{n} \right| \quad (4.7)$$

- Výběr maxim sloupců  $B1$  a  $B2$  a maximum těchto hodnot je hledané testové kritérium  $x_{obs}$  (Tabulka 9).
- Výpočet  $F(x_{obs})$ , tedy hodnoty distribuční funkce  $W2p$  pro hodnotu  $x_{obs}$  a také doplněk  $F(x_{obs})$  do jedné.
- Určení kritické hodnoty dle tabulek podle hladiny významnosti  $\alpha$  a počtu záznamů v testovaném souboru dat. Ze statistických tabulek byla zjištěna hodnota 0,318. Po odečtení od jedné byla kritická hodnota rovna 0,682 (Tabulka 10).
- Porovnání hodnoty  $F(x_{obs})$  s kritickou hodnotou a také hodnoty  $1-F(x_{obs})$  s druhou kritickou hodnotou. Pokud je  $F(x_{obs})$  menší než kritická hodnota a  $1-F(x_{obs})$  je větší než druhá kritická hodnota, tak nulová hypotéza není zamítnuta. Pokud by tomu bylo naopak, byla by nulová hypotéza zamítnuta

ve prospěch alternativní hypotézy. Tedy opět bylo možné tvrdit, že testovaný soubor dat odpovídá dvouparametrickému Weibullovu rozdělení s parametry  $m = 1,5135$  a  $t_0 = 195,841$ , viz tabulka 11.

Tabulka 8 - Tabulka výpočtů Kolmogorov - Smirnovova testu pro jeden výběr pro soubor dat Belaz 1 – celek (autor)

i	t	A1 = i/n	A2 = (i-1)/n	F(x)	B1 =  F(x)-(i-1)/n	B2 =  F(x)-i/n
1	24	0,058824	0,000000	0,0408441	0,040844	0,017979469
2	51	0,117647	0,058824	0,1223435	0,063520	0,004696465
3	72	0,176471	0,117647	0,1974215	0,079774	0,020950929
4	72	0,235294	0,176471	0,1974215	0,020951	0,0378726
5	84	0,294118	0,235294	0,2424875	0,007193	0,051630098
6	90	0,352941	0,294118	0,2652924	0,028825	0,087648764
7	94	0,411765	0,352941	0,2805403	0,072401	0,131224378
8	135	0,470588	0,411765	0,4341691	0,022404	0,036419104
9	172	0,529412	0,470588	0,5602849	0,089697	0,030873176
10	174	0,588235	0,529412	0,566616	0,037204	0,021619278
11	213	0,647059	0,588235	0,6787541	0,090519	0,03169527
12	226	0,705882	0,647059	0,7112143	0,064156	0,005331971
13	234	0,764706	0,705882	0,7299683	0,024086	0,034737552
14	250	0,823529	0,764706	0,7647381	0,000032	0,058791309
15	305	0,882353	0,823529	0,8584637	0,034934	0,023889278
16	340	0,941176	0,882353	0,9002018	0,017849	0,040974707
17	398	1	0,941176	0,9463354	0,005159	0,053664593

Tabulka 9 - Testové kritérium výpočtů Kolmogorov - Smirnovova testu pro jeden výběr pro soubor dat Belaz 1 – celek (autor)

maxima	0,090519	0,13122438
xobs	0,131224	

Tabulka 10 - Kritické hodnoty výpočtů Kolmogorov - Smirnovova testu pro jeden výběr pro soubor dat Belaz 1 – celek (autor)

F(xobs)	1,5715E-05
1-F(xobs)	0,999984285

Tabulka 11 - Výsledek výpočtů Kolmogorov - Smirnovova testu pro jeden výběr pro soubor dat Belaz 1 – celek (autor)

F(xobs)<0,318	ano
1-F(xobs)>0,682	ano
H0 nezamítám	

### 4.3 ZJIŠTĚNÁ PORUCHOVOST VOZIDEL

V této části práce byly shrnuty získané výsledky jak pro každé vozidlo, tak také za celou flotilu daných vozů. Výsledky byly doplněny krátkým popisem získaných dat. V grafech byly porovnávány střední doby do poruchy dle tabulky 12.

Jednotlivá čísla udávají střední dobu do poruchy ve dnech. Tato jednotka byla zvolena s ohledem na výsledné hodnoty a jejich názornost při analýzách jednotlivých konstrukčních skupin i celých vozidel.

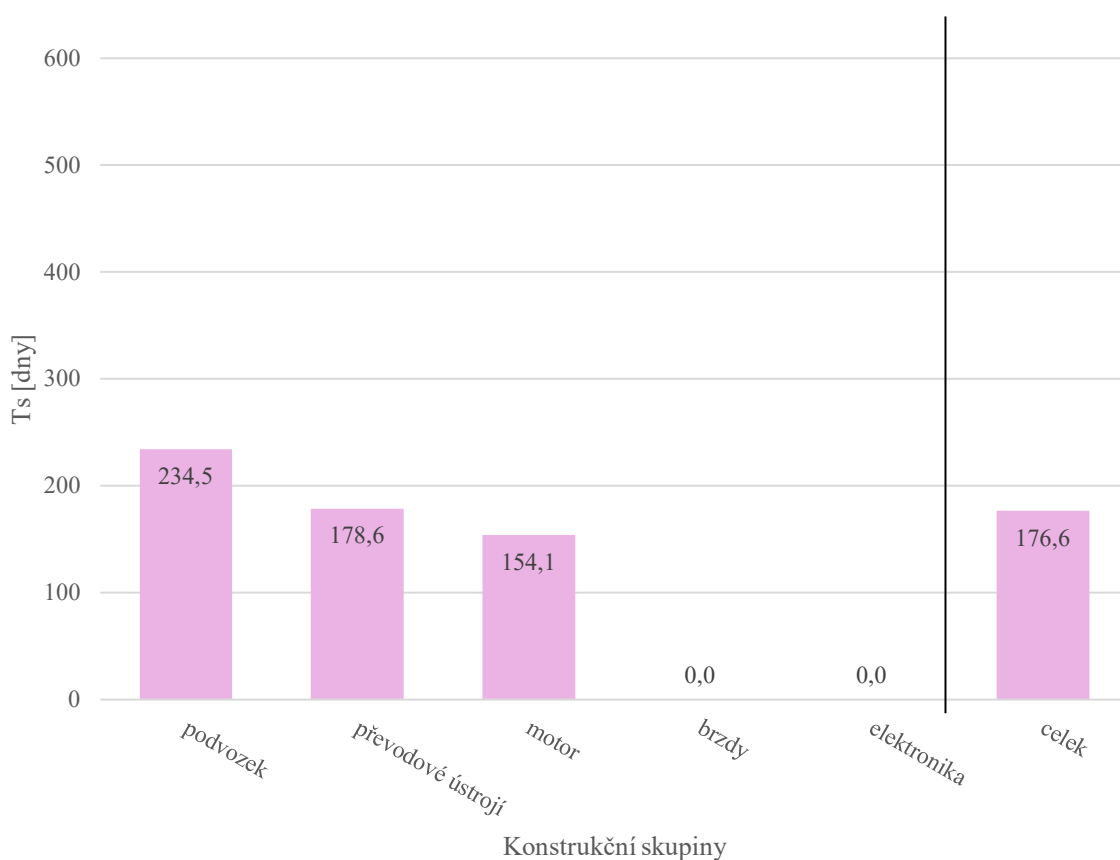
*Tabulka 12 - Zjištěné střední doby do poruchy u jednotlivých vozidel a flotil vozidel (autor)*

Konstrukční části	Motor	Převod.	Podv.	Brzdy	Elektro	Celek
vozidlo	1	2	3	4	5	6
Belaz 1	154,1	178,6	234,5	-	-	176,6
Belaz 2	116,3	150,5	168,7	286,5	314,0	170,9
Belaz 3	131,0	195,4	519,7	463,9	283,3	221,5
Tatra 1	276,5	471,9	176,7	-	244,0	215,0
Tatra 2	307,5	357,0	233,7	-	-	270,0
Belazy	126,6	161,4	246,6	371,4	334,8	173,9
Tatry	277,4	330,5	197,1	-	244,0	242,6

U jednotlivých vozidel jsou mezi sebou porovnávány konstrukční skupiny, tedy motor, převodové ústrojí, podvozek, brzdy, elektronika a na závěr souhrn za celé vozidlo.

#### 4.3.1 BELAZ 1

U Belazu 1 bylo možné zjistit spolehlivost jen tří dílčích skupin. Z důvodu vyřazení vozidla z provozu již ani nebude možné získat další informace a vypočítat spolehlivosti zbývajících skupin. Dle Obr. 23 má z dílčích skupin největší spolehlivost podvozek a naopak nejmenší spolehlivost motor. Spolehlivost převodového ústrojí není příliš vzdálená motoru, protože mnoho oprav bylo prováděno při jedné odstávce vozidla, tedy některé méně závažné servisní úkony se kumulovaly, aby bylo eliminováno časté odstavování vozidla. Střední doba do poruchy za celé vozidlo činí téměř 177 dnů.



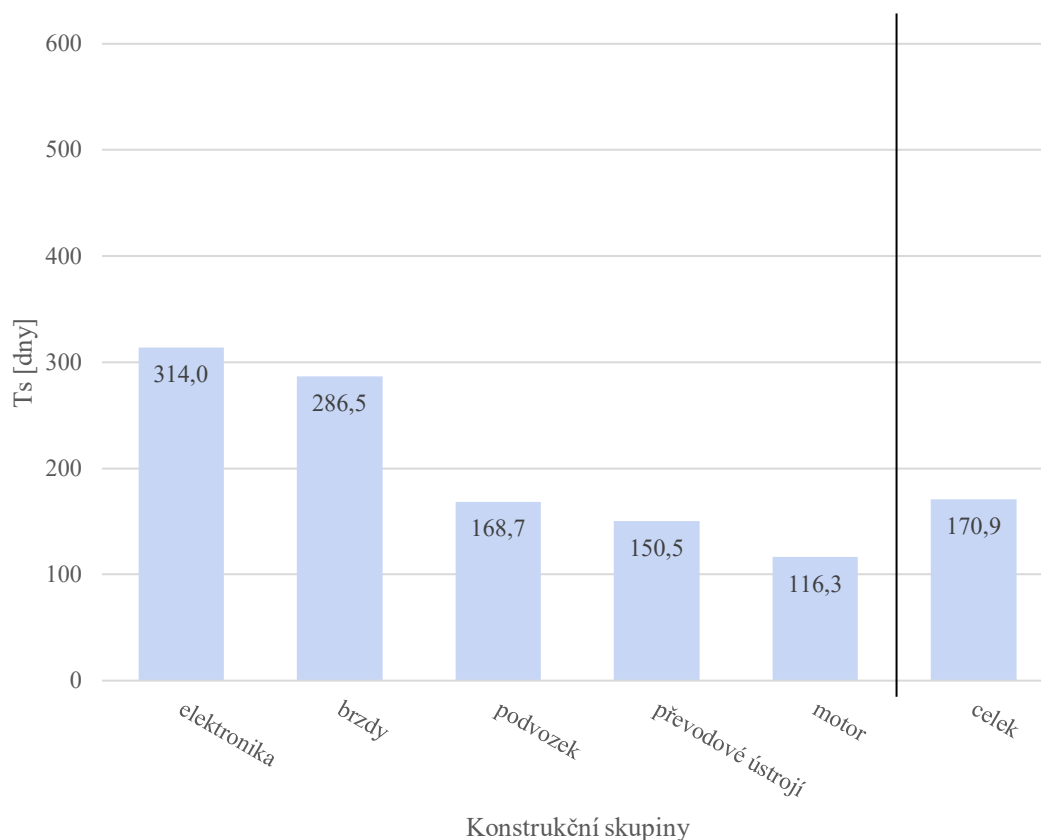
Obr. 23 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin vozidla Belaz 1  
(autor)



#### 4.3.2 BELAZ 2

Belaz 2 disponoval dostatkem záznamů pro analýzu spolehlivosti všech určených konstrukčních skupin. Ve skupině 4 a 5, tedy brzdy a elektronika bylo oproti prvním třem skupinám menší množství záznamů. Proto je možné, že se s postupujícím časem a přibývajícimi záznamy budou hodnoty  $T_s$ , viz Obr. 24, snižovat k podobným hodnotám jako u motoru, podvozku a převodového ústrojí.

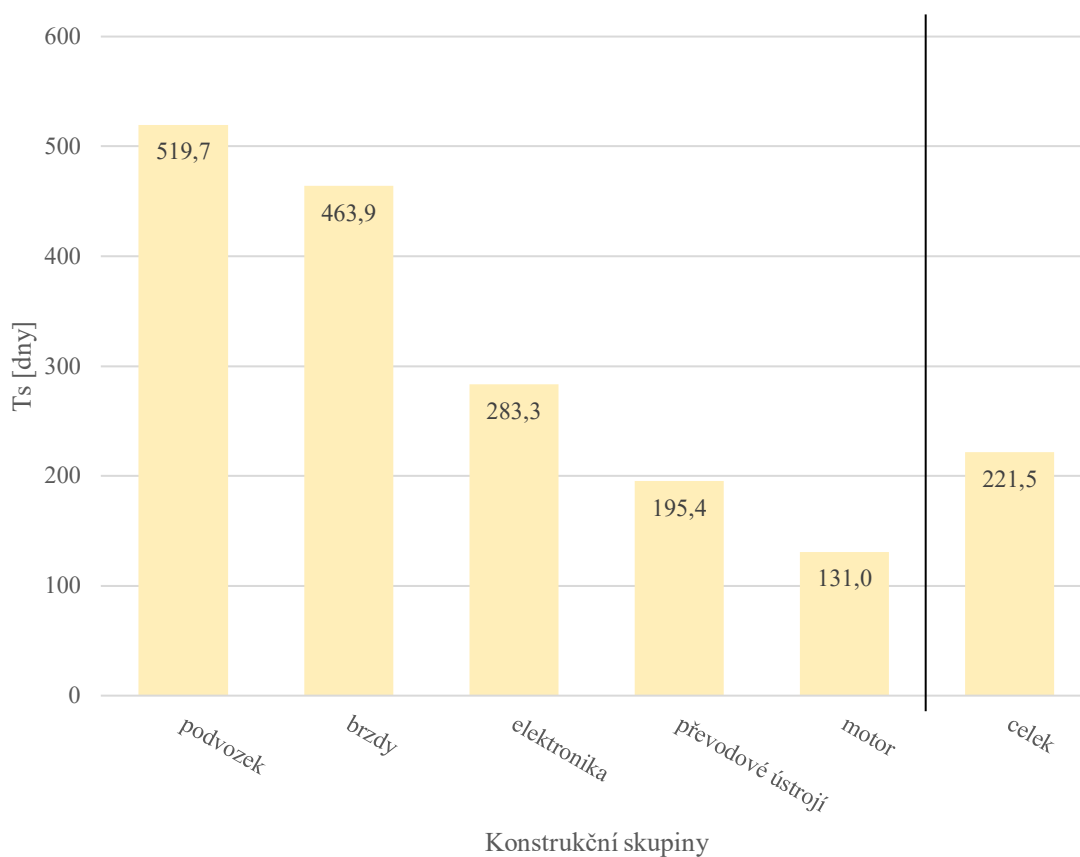
Nyní lze tvrdit, že spolehlivost elektroniky je více než dvojnásobná oproti prvním třem skupinám. Toto lze odůvodnit tím, že u nákladního vozidla, navíc konstrukčně staršího, není elektronika tak složitá jako u vozů novějších. Brzdy také dosahují vysoké spolehlivosti, což je dáno jejich bubnovou konstrukcí, která je méně náročná na údržbu než například kotoučové brzdy.



Obr. 24 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin vozidla Belaz 2  
(autor)

### 4.3.3 BELAZ 3

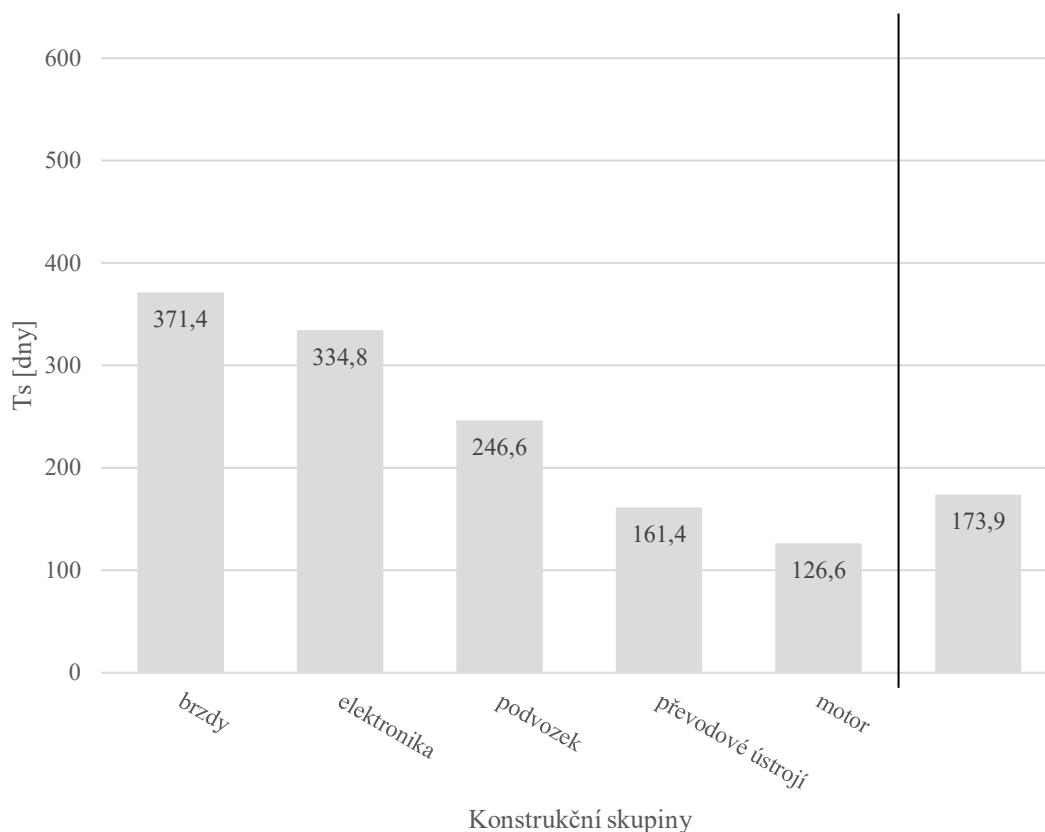
U Belazu 3 bylo možné pozorovat vysokou hodnotu spolehlivosti u podvozku a brzd, viz Obr. 25. Spolehlivost brzd, u kterých vychází porucha průměrně po téměř 464 dnech, lze odůvodnit obdobně jako u předchozího Belazu 2, tedy dobré koncepční řešení pro dané provozní podmínky. Spolehlivost podvozkových částí (téměř 520 dní) je vysoká a jen dokazuje dobře dimenzovanou konstrukci, která obstojí i v náročných podmínkách.



Obr. 25 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin vozidla Belaz 3  
(autor)

#### 4.3.4 BELAZY – FLOTILA

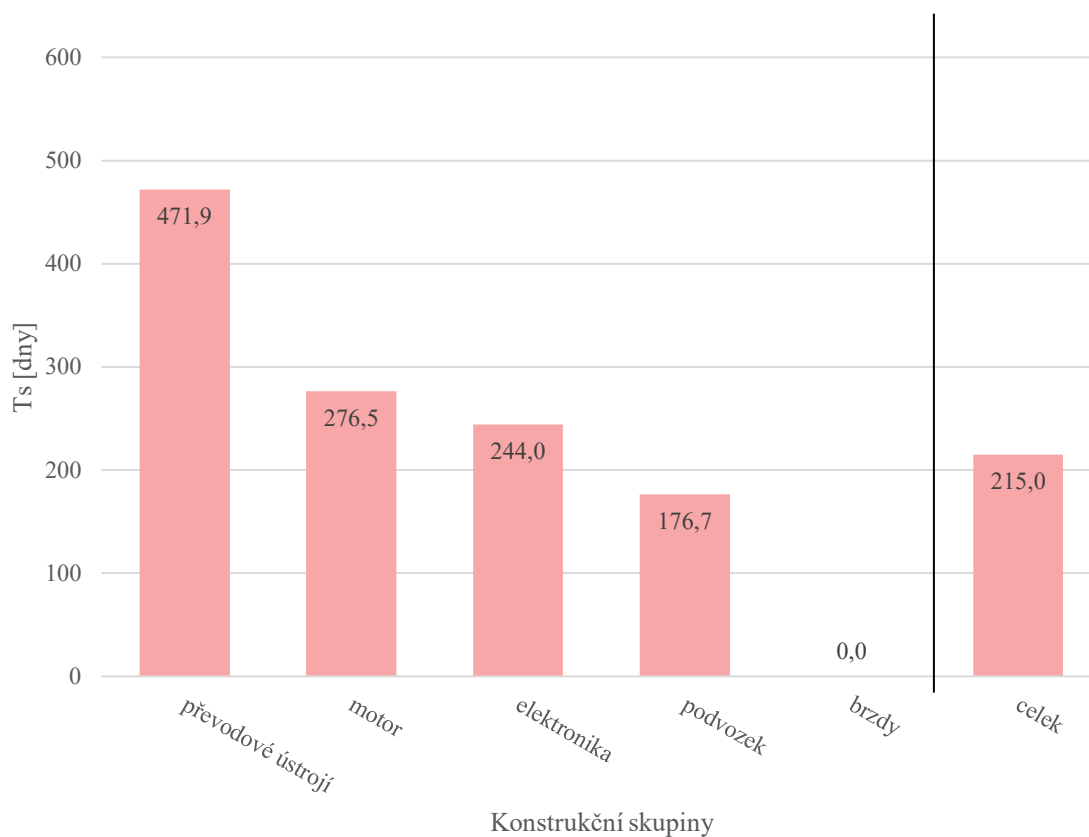
Při pohledu na celou flotilu vozidel Belaz (Obr. 26) lze pozorovat, že motor vykazuje nejmenší spolehlivost, kterou následuje převodové ústrojí a s drobným odstupem podvozek. Elektronika, a hlavně brzdy mají vysokou spolehlivost vysoce převyšující 300 dnů; obě hodnoty nejsou vzdáleny hodnotě jednoho roku. Motor a pohonné ústrojí jsou při práci v lomu hodně namáhány, protože vozidla překonávají mnohdy vysoká stoupání s plně naloženou korbou. Naopak brzdy bývají využívány hlavně při sjíždění do lomu, kam vozidla sjíždějí prázdná, proto jsou méně namáhána.



Obr. 26 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin flotily vozidel Belaz (autor)

#### 4.3.5 TATRA 1

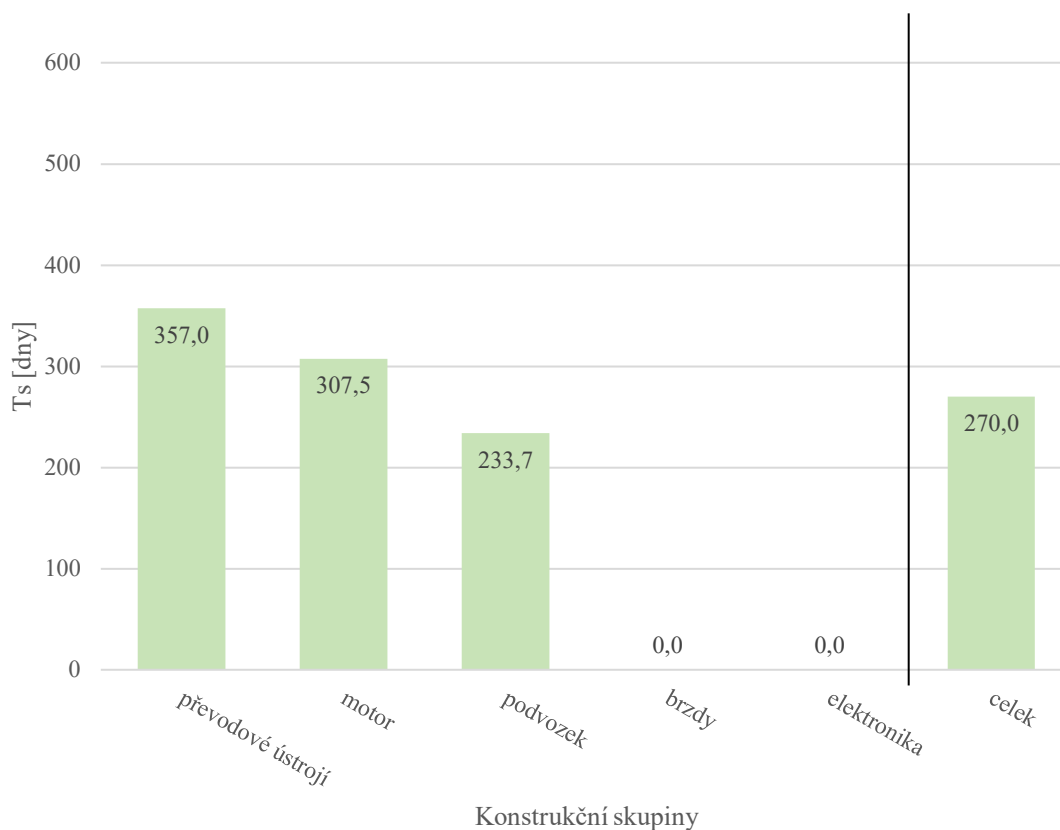
U Tater zatím nebyl dostatek záznamů pro všechny konstrukční skupiny, což je případ také Tatry 1. U tohoto kusu nebylo možné posoudit brzdy právě z důvodu nedostatečného množství dat. Nejnižší hodnoty střední doby do poruchy  $T_s$  dosáhl podvozek, ale i zde je hodnota dostatečně vysoká vzhledem k náročným provozním podmínkám. Nejvyšší spolehlivost je možné pozorovat u převodového ústrojí, kde je podle Obr. 27 výsledek téměř 472 dní.



Obr. 27 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin vozidla Tatra 1  
(autor)

#### 4.3.6 TATRA 2

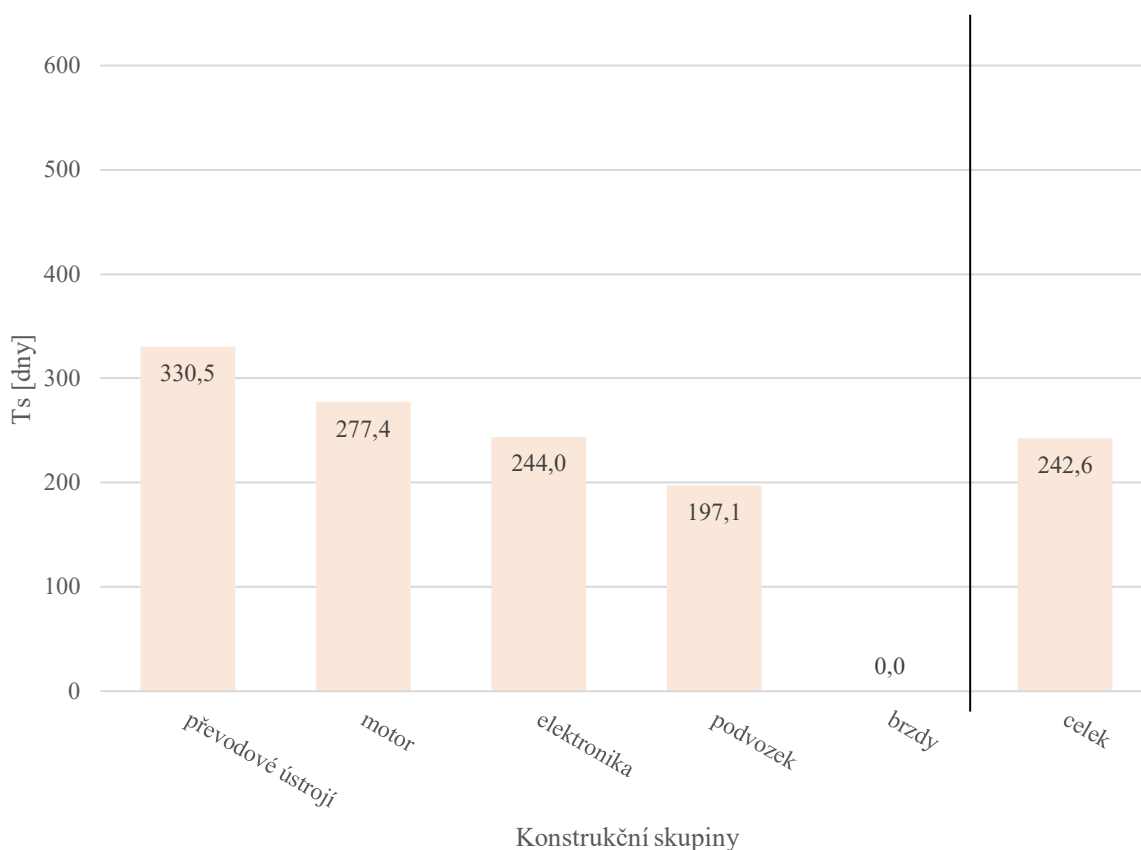
U Tatra 2 bylo možné posuzovat jen první tři kategorie, podobně jako u Belazu 1. Celkovou spolehlivost dosahující téměř 270 dní lze hodnotit kladně a také zdánlivě nejhorší hodnota 233 dní v případě podvozku je dobrá. Mezi hodnotami na Obr. 28 nejsou příliš velké rozdíly a výsledky u motoru a převodovky naznačují, že nejvíce tyto skupiny ovlivňuje servisní interval, který je pro obě skupiny stejný.



Obr. 28 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin vozidla Tatra 2  
(autor)

#### 4.3.7 TATRY – FLOTILA

Za flotilu vozidel Tatra byly posuzovány všechny konstrukční skupiny kromě brzd. Jak je patrné na Obr. 29, všechny hodnoty, až na podvozek, výrazně přesahují hodnotu 200 dnů, což jsou dobré výsledky. Podvozek je však metě 200 dnů velmi blízko, takže také dosahuje vysoké spolehlivosti. Celková výsledná hodnota 242 dní napovídá, že u těchto vozů nedochází k žádné opakované a nevyřešené poruše, která by se zpětně vracela.



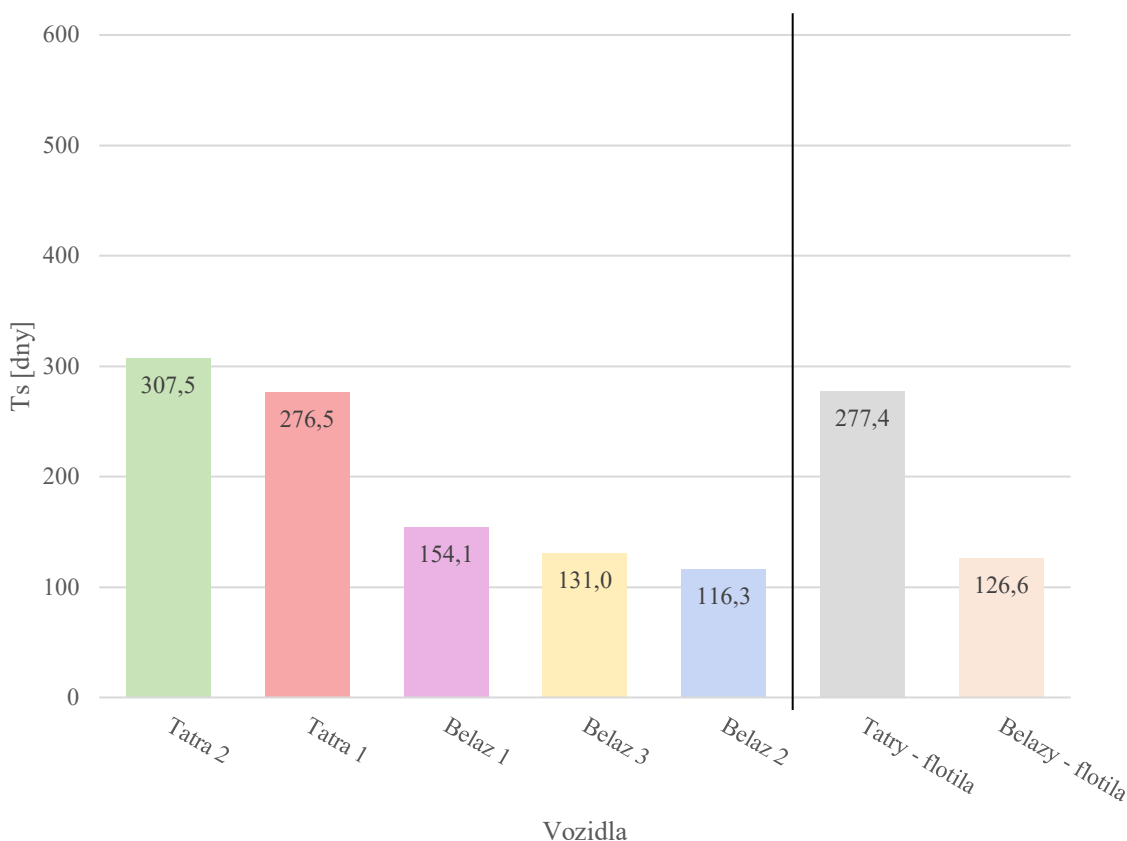
Obr. 29 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin flotily vozidel Tatra (autor)

## 4.4 HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKČNÍCH CELKŮ

V této podkapitole jsou mezi sebou porovnávána všechna vozidla v rámci dané konstrukční skupiny.

### 4.4.1 MOTOR

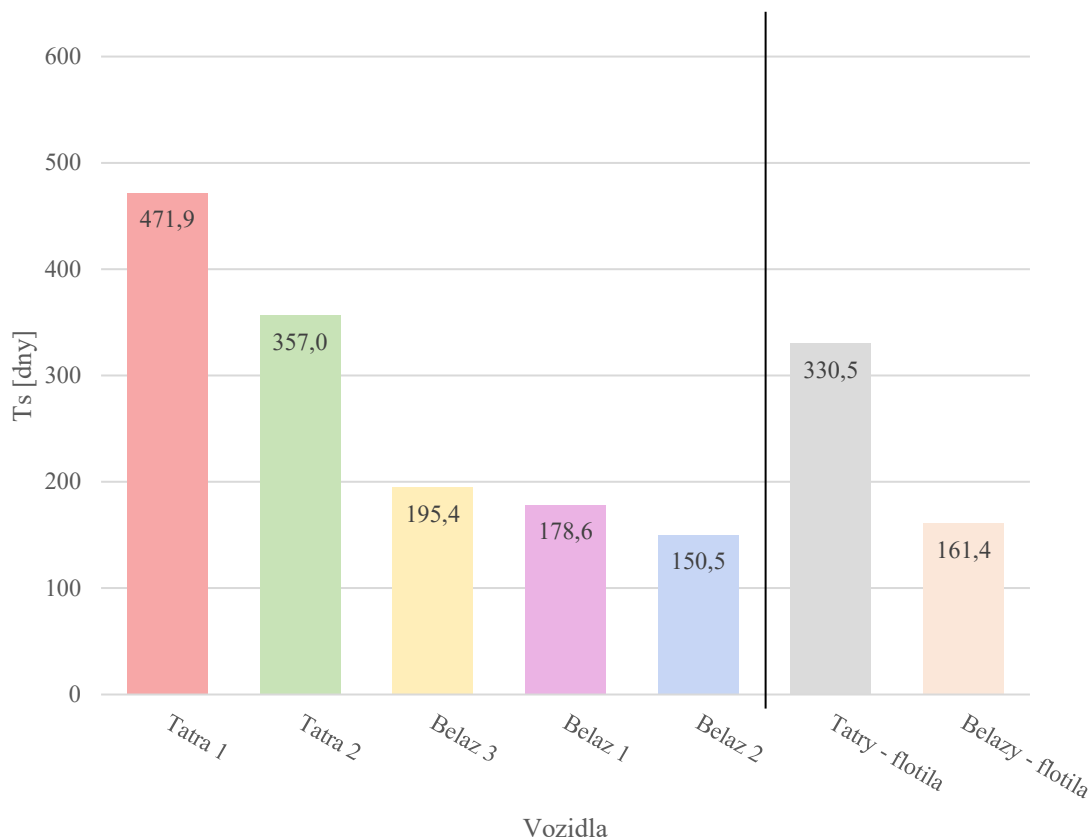
Výsledky u motoru jsou dle Obr. 30 pro Tatry a Belazy poměrně odlišné. Belazy se pohybují v rozmezí 116 – 154 dnů, oproti hodnotám 276 – 308 u Tater. Z výsledků vyplývá, že Tatry jsou spolehlivější než vozidla Belaz. Jedním z důvodů může být, že jsou pro Tatry předepisovány delší servisní intervaly pro výměny náplní a filtrů, které jsou v těchto výpočtech také zahrnuty.



Obr. 30 - Porovnání středních dob do poruchy motoru mezi jednotlivými vozidly (autor)

#### 4.4.2 PŘEVODOVÉ ÚSTROJÍ

Také převodové ústrojí je dle výsledků spolehlivější u Tater. U Tatry 1 je navíc rozdíl velmi patrný i oproti Tatře 2. Celková spolehlivost je u Tater (330 dnů) více než dvojnásobná než u Belazů (161 dnů). Také tyto rozdíly mezi Tatrami a Belazy jsou zřejmě způsobeny rozdílnými servisními intervaly, protože hodnoty u Belazů jsou poměrně vyrovnané, viz Obr. 31.

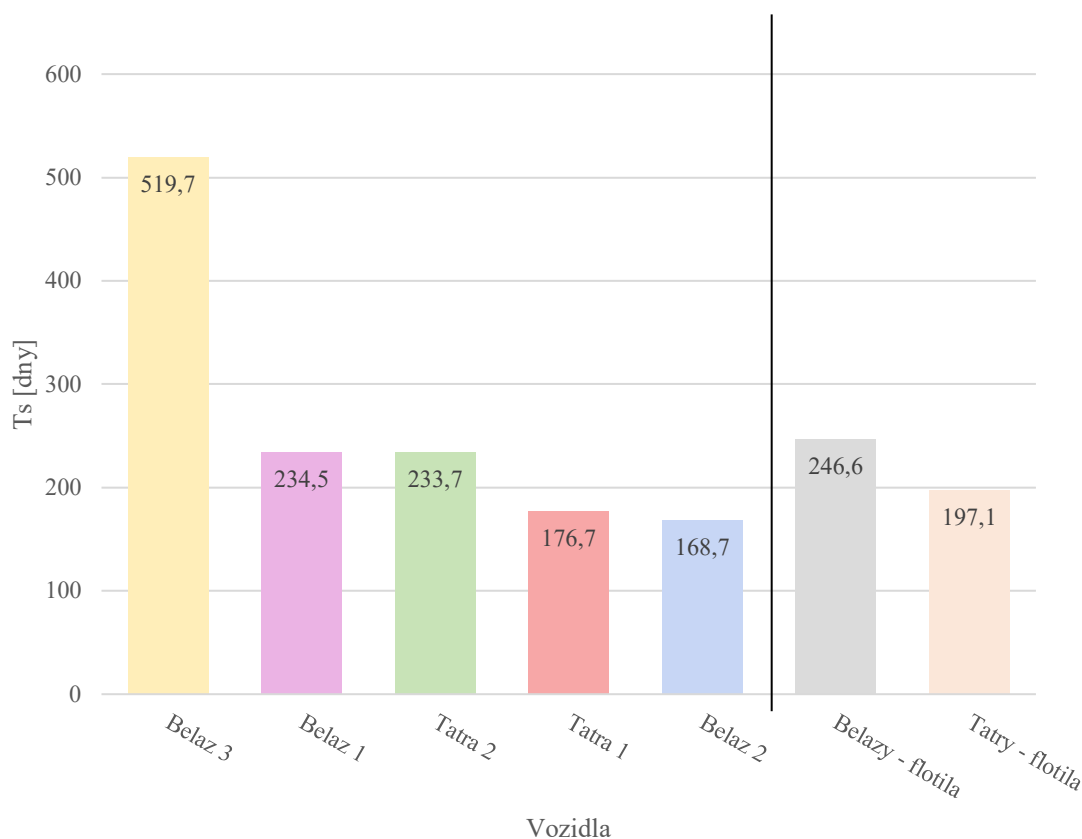


Obr. 31 - Porovnání středních dob do poruchy převodového ústrojí mezi jednotlivými vozidly  
(autor)



#### 4.4.3 PODVOZEK

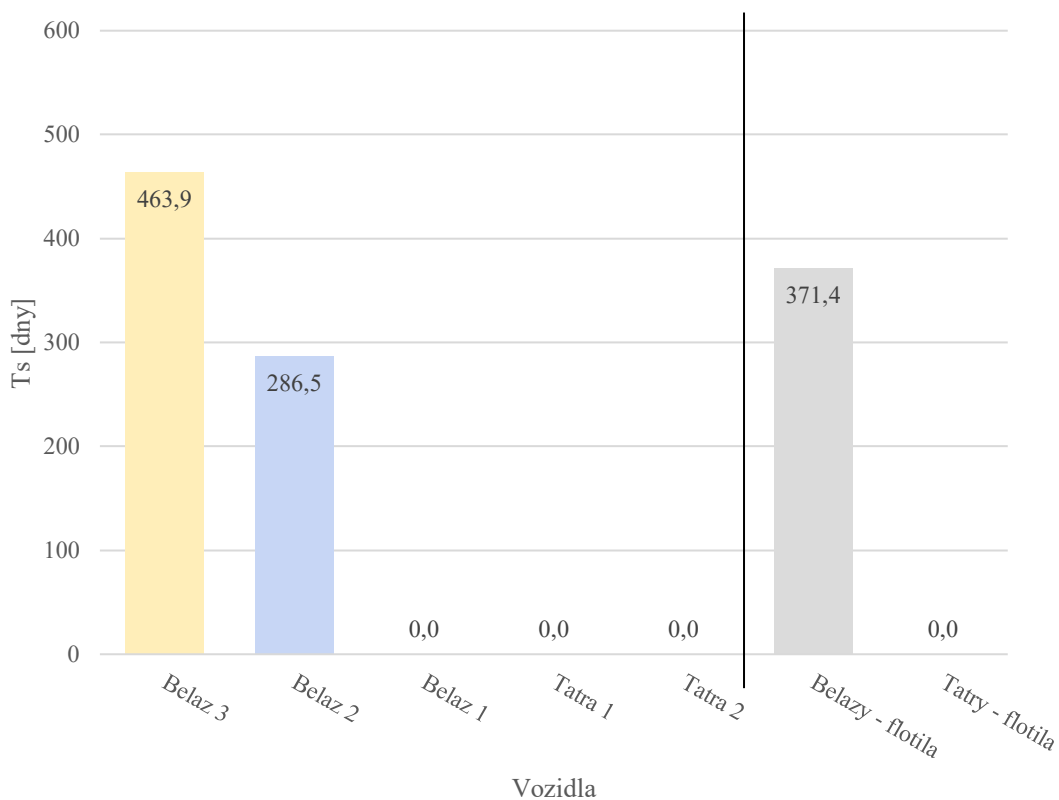
U podvozku lze na Obr. 32 také pozorovat velké rozdíly. Obě Tatry i Belaz 1 a Belaz 2 vykazují podobné spolehlivosti kolem hodnot 170 a 230 dnů. Belaz 3 s hodnotou 519 dnů velmi vybočuje, což také ovlivňuje celkovou spolehlivost za flotilu, která by jinak vycházela téměř rovnocenně jako u Tater. U Belazu 3 lze jen spekulovat, zda čelí mírnějším vnějším vlivům ze strany zatížení, ovládání řidiči atp. nebo jsou na něm již odladěné např. konstrukční nedostatky, které sužovaly dříve vyrobené kusy Belaz 1 a Belaz 2. U Tatry 1 byly ze začátku problémy s měchy odpružení kol, které se postupem času vyřešily, což je důvodem horšího výsledku Tatry 1 oproti Tatře 2.



Obr. 32 - Porovnání středních dob do poruchy podvozku mezi jednotlivými vozidly (autor)

#### 4.4.4 BRZDY

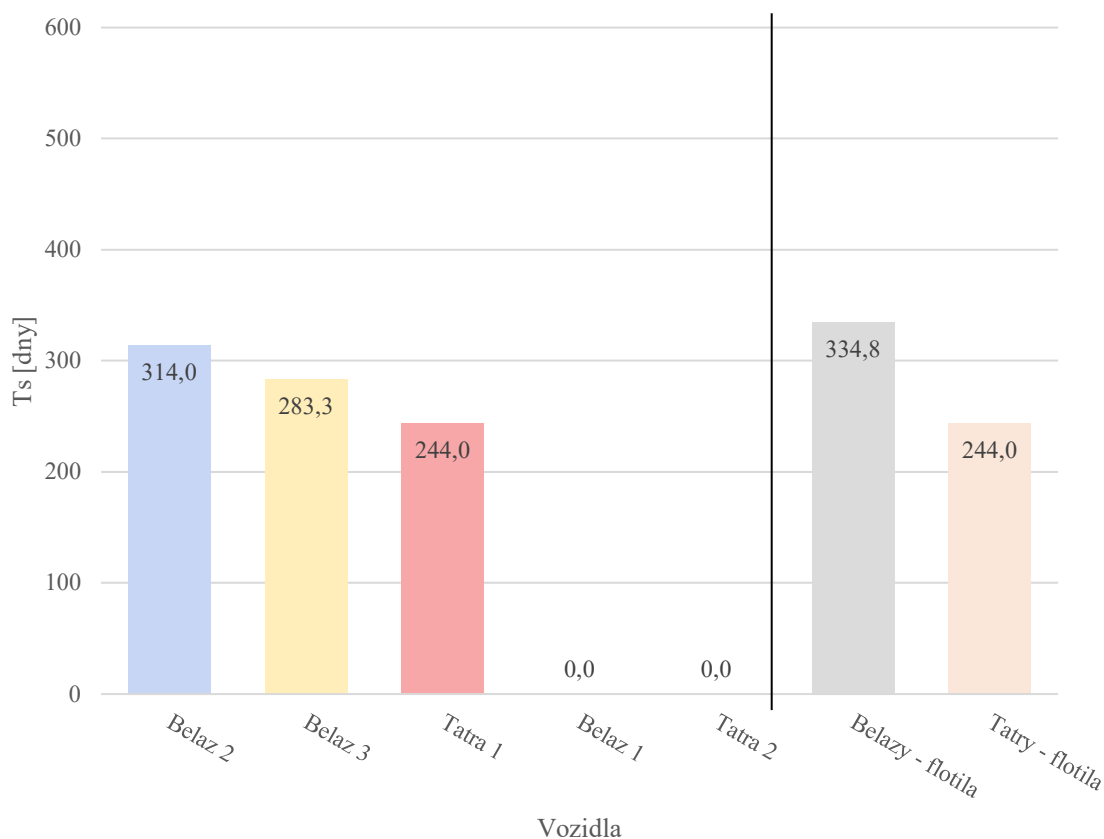
Brzdy, z důvodu omezeného množství záznamů, bylo možné analyzovat pouze u Belazů 2 a 3, u kterých vychází průměrný střední čas do poruchy na hodnotě 371 dnů, viz Obr. 33. To je více než jeden rok. Opět bylo možné pozorovat, že novější vozidlo vykazovalo lepší hodnoty spolehlivosti, což obecně platí ve většině porovnávaných skupin.



Obr. 33 - Porovnání středních dob do poruchy brzd mezi jednotlivými vozidly (autor)

#### 4.4.5 ELEKTRONIKA

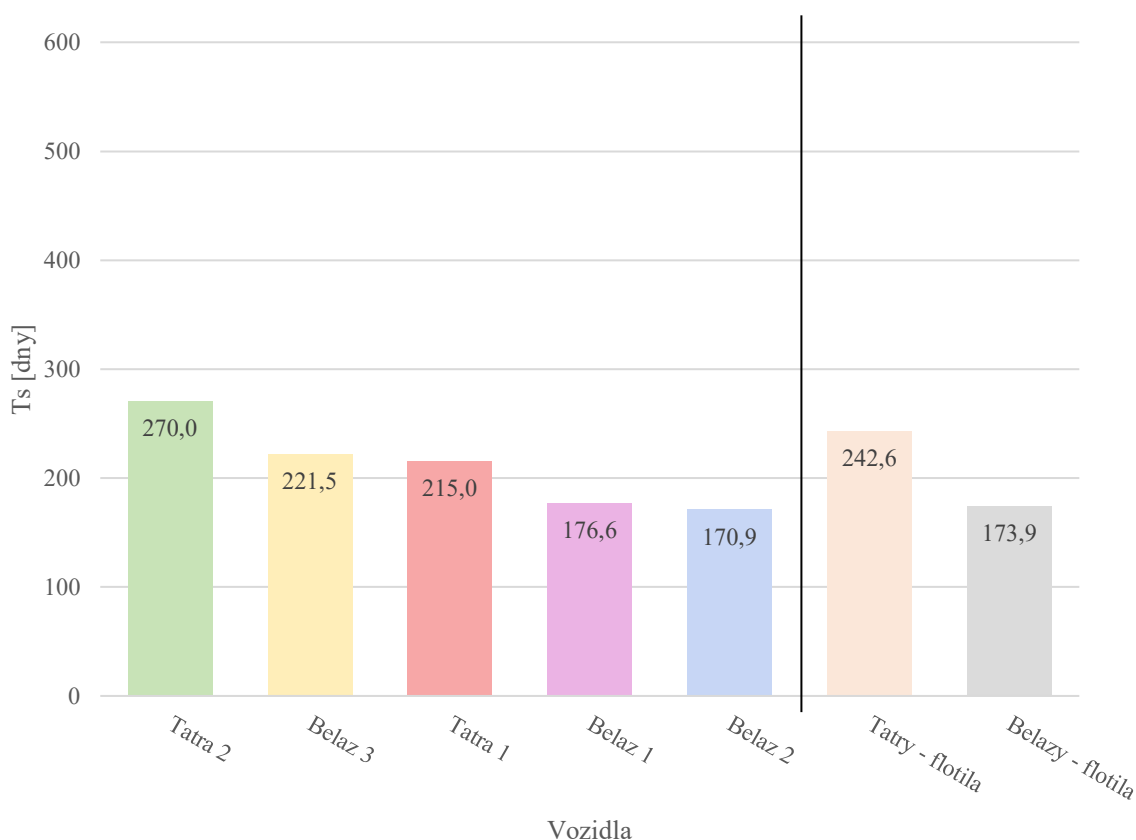
Elektronika je u Belazů celkově spolehlivější, což je možné obhájit dříve zmíněným méně sofistikovaným řešením elektronických zařízení, která jsou tak méně náchylná k výskytu závad. Tatry obsahují složitější řídicí jednotky, více čidel a senzorů, které mohou častěji upozorňovat na závady a které také mohou častěji selhávat. Dle Obr. 34 Tatry dosahují téměř 244 dní a Belazy téměř 335 dní mezi poruchami.



Obr. 34 - Porovnání středních dob do poruchy elektroniky mezi jednotlivými vozidly (autor)

#### 4.4.6 CELÉ VOZIDLO

Při porovnání celkových souhrnů za daná vozidla (Obr. 35) je patrné, že Belazy 1 a 2 jsou velmi podobné s hodnotami 177 a 171 dnů, které, navzdory vyšší spolehlivosti Belazu 3 (221 dnů), hlavně ovlivňují výslednou spolehlivost flotily Belazů s výsledkem téměř 174 dnů. Tatry mají obecně delší střední doby do poruchy  $T_s$  s výsledky 215 a 270 dnů, tedy i jejich výsledná hodnota téměř 243 dnů převyšuje výsledek Belazů. Tatry sice mají menší spolehlivost elektroniky, ale delší střední doby do poruchy v ostatních kategoriích, což zajistilo celkově lepší výsledek Tater.



Obr. 35 - Porovnání středních dob do poruchy celého vozidla mezi jednotlivými vozidly (autor)

Hlubší zamyšlení nad možnými rozdíly ve spolehlivostech může přinést prostudování údržbových plánů jednotlivých vozů, které je zpracováno v následující kapitole.

## 4.5 VYUŽITÍ VOZIDEL

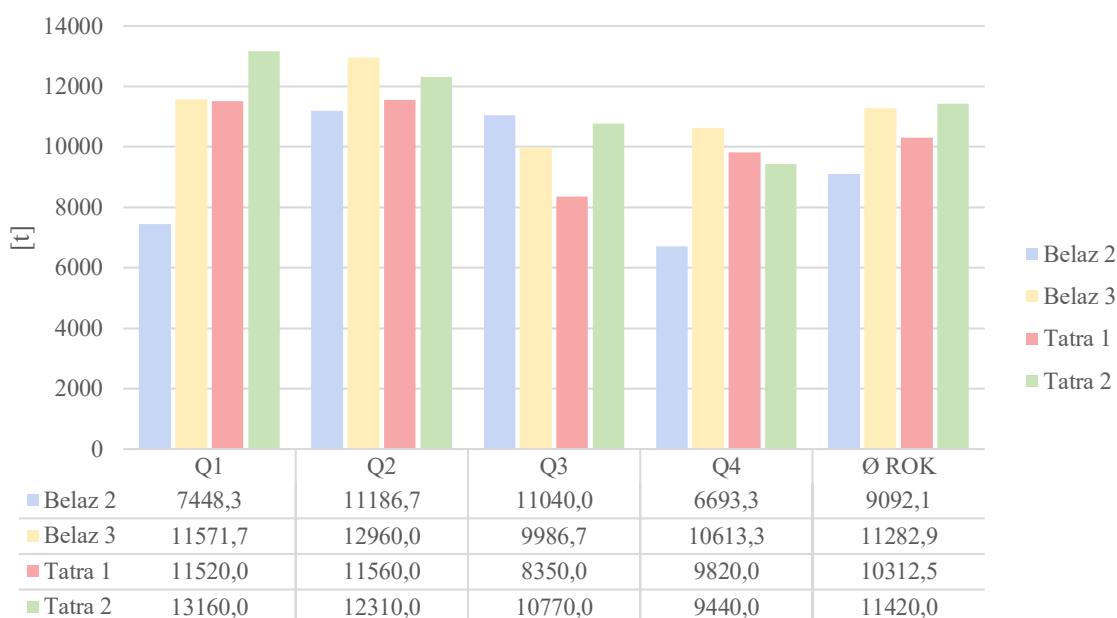
Na následujících třech sloupcových grafech byly znázorněny tři veličiny, které jsou také potřebné pro pochopení souvislostí spolehlivosti vozidel. Jedná se o převezené množství nákladu, spotřebu pohonných hmot (dále PHM) a měrnou spotřebu PHM, která byla vypočítána jako podíl spotřeby a přepraveného množství nákladu. Měrná spotřeba PHM je dle autora uvážení vhodným porovnávacím nástrojem, který může částečně ukázat na ekonomickou výhodnost daného vozidla.

Na Obr. 36 - 38 již chybí Belaz 1, protože znázorněný soubor dat pochází z roku 2019, kdy už nebyl Belaz 1 v provozu.

### 4.5.1 PŘEVEZENÝ MATERIÁL

Belazy i Tatry najedou během běžné směny podobné množství kilometrů, tedy přibližně 55 – 60 km, dle dané etáže. Podle Obr. 38 je patrné, že například Belaz 3 a Tatra 2 během roku přepravily podobné množství materiálu, proto je možné všechna vozidla považovat za podobně využívaná. Z tohoto grafu navíc vyplývá, že nejvíce převezeného materiálu je během druhého kvartálu roku, o něco méně v tom prvním a úplně nejméně v posledním čtvrtletí, kdy je zimní období. Toto zjištění ovlivňuje například četnost výměny vzduchových filtrů, které jsou nejvíce zanášeny právě přes letní, teplé a prašné měsíce.

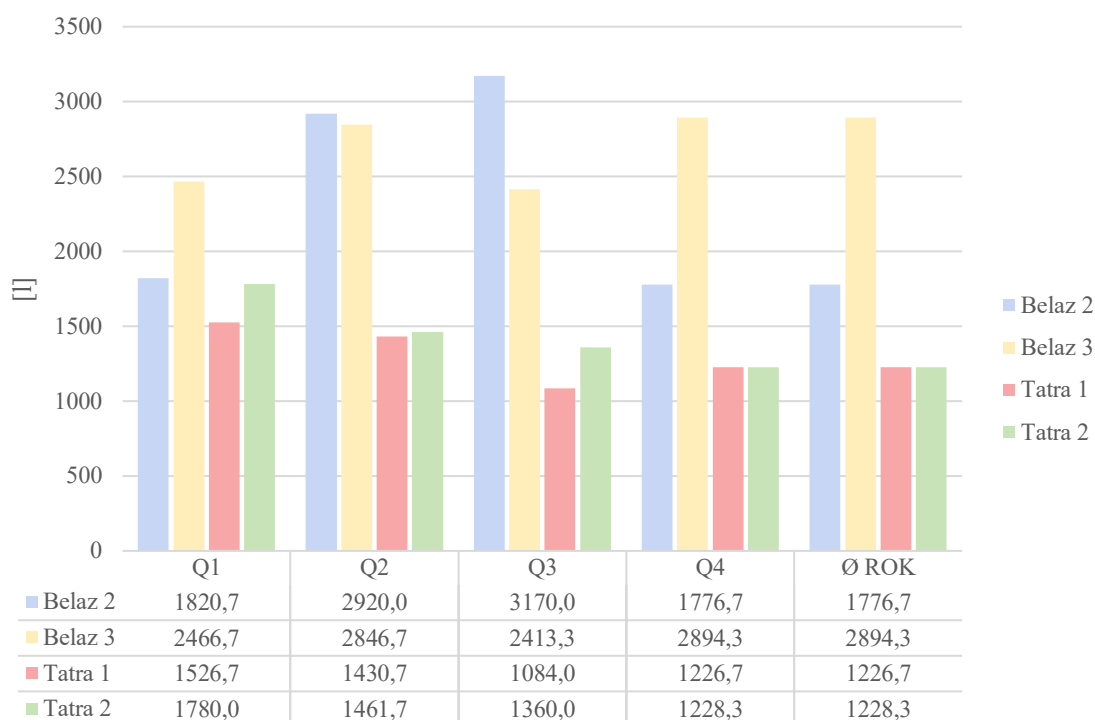
Belaz 3 vykazuje vyšší spolehlivost než Belaz 2 i přes větší objem přepraveného nákladu.



Obr. 36 - Množství převezeného materiálu jednotlivými vozidly za rok 2019 (autor)

#### 4.5.2 SPOTŘEBA PHM

Z Obr. 39 jednoznačně vyplývá, že nejvíce paliva spotřebovala vozidla ve druhém čtvrtletí. Dále vyplývá, že největší spotřebu vykazoval Belaz 3 a že Tatry měly celkově nižší spotřebu než Belazy. Předpokládaná zvýšená spotřeba v zimním období se zde neprojevila, což může být způsobeno menším využitím vozidel.



Obr. 37 - Spotřeba PHM jednotlivých vozidel za rok 2019 (autor)

### 4.5.3 MĚRNÁ SPOTŘEBA

Měrná spotřeba je důležitým faktorem při analyzování vozového parku, neboť po boku samotné spolehlivosti a nákladů na údržbu má velký vliv na ekonomickou výhodnost také spotřeba paliva. Naopak tento výpočet díky zahrnutí převezeného množství materiálu zabráňuje tomu, aby nebyl mylně označen některý z vozů za nejúspornější. Pokud by daný kus například absolvoval jen poloviční výtěžnost, logicky by tak vykazoval nižší požadavky na palivo.

Výsledky analýzy měrné spotřeby na Obr. 40 potvrzují předpoklad, že v chladnějším podzimním a zimním období roste spotřeba z důvodu větších tepelných ztrát a větších mechanických odporů způsobených zvýšenou viskozitou mazacích prostředků.

Při pohledu na výsledky hodnot Belazů lze pozorovat rozdíl, kdy Belaz 2 vykazuje vyšší měrnou spotřebu paliva než Belaz 3 a zároveň má Belaz 2 dle předchozích výsledků menší spolehlivost.



Obr. 38 - Měrná spotřeba PHM jednotlivých vozidel za rok 2019 (autor)

## 5 NÁVRH ÚPRAV SYSTÉMU ÚDRŽBY

Tato kapitola je zaměřena na popis systémů údržby vozidel Belaz, Tatra a také na návrhy úprav těchto systémů, které by zajistily zlepšení výsledků dosažených v kapitole 4.4.

U obou typů vozidel je koncovému uživateli (provozovateli) k dispozici omezený údržbový plán, který je z většiny plánem mazacím. Podrobné údržbové plány jsou v kompetencích výrobce a resp. pověřené servisní organizace. Proto jsou podkapitoly návrhů úprav koncipovány jako návrhy údržbových úkonů, které může provádět oddělení údržby přímo v lomu a ve vlastním servisním zázemí bez pomoci externích servisních organizací.

### 5.1 BELAZ

U Belazů je předepsaný poměrně jednoduchý mazací plán, který se omezuje jen na výměny olejů, filtrů a klínových řemenů po najetí určitého počtu motohodin.

#### 5.1.1 STÁVAJÍCÍ SYSTÉM ÚDRŽBY

Pro názornost byly předepsané intervaly (viz Tabulka 13) převedeny dle zjištěné závislosti, že vozidlo Belaz během jednoho pracovního dne najede přibližně 7 motohodin, do tabulky 14. S rezervou lze konstatovat, že 250 Mth odpovídá jednomu měsíci, pak 500 Mth jsou dva měsíce atd., až 4000 Mth odpovídá 1,333 roku.

Tabulka 13 - Servisní intervaly pro výměny olejů a mazání strojů Belaz [22]

	Servisní intervaly pro výměny olejů a mazání strojů Belaz						
Rozsah provedených úkonů	250 Mth	500 Mth	1000 Mth	1500 Mth	2000 Mth	3000 Mth	4000 Mth
Výměna oleje a filtrů v motoru	X	X	X	X	X	X	X
Výměna vzduchových filtrů		X	X	X	X	X	X
Výměna naftových filtrů			X		X	X	X
Výměna filtrů převodovky			X		X	X	X
Výměna filtru hyd. systému			X		X	X	X
Výmě oleje v hlavním rozvodu				X		X	
Výměna oleje v koncových převodech				X		X	
Výměna oleje v převodovce					X		X
Výměna oleje v hyd. systému					X		X
Vyčištění nebo výměna vnitřních filtrů v převodovce					X		X
Výměna nemrznoucí kapaliny v chladicím okruhu							X nebo 2 roky
Výměna klínových řemenů					X		X
Mazání stroje bez centr. mazání	1x týdně						



Tabulka 14 - Převod Mth na čas (autor)

250 Mth	500 Mth	1000 Mth	1500 Mth	2000 Mth	3000 Mth	4000 Mth
1 měsíc	2 měsíc	4 měsíce	6 měsíců	8 měsíců	1 rok	1,33 roku

### 5.1.2 NÁVRH ÚPRAV

Celkově je zjištěná spolehlivost vozidel Belaz na vysoké úrovni. Nejvíce poruchovou částí je motor, přesto i ten dosahuje střední doby do poruchy 126 dnů. Při analýze záznamů nebylo odhaleno vyšší množství poruch jedné konkrétní konstrukční části, což by vyžadovalo její časté kontroly nebo údržbu. Také po konzultacích se servisní organizací bylo shledáno, že předepsaný mazací plán byl zvolen adekvátně pro dané provozní podmínky a koresponduje s potřebami používané techniky.

Za zmínku stojí rozdíl mezi Belazy, kde Belaz 2 oproti Belazu 3 vykazuje vyšší měrnou spotřebu a nižší spolehlivost, tedy je vhodné zaměřit se na odhalení důvodů těchto rozdílů a pokusit se je odstranit.

Níže byl proveden návrh údržbového plánu určeného pro preventivní prohlídky, které může vykonávat oddělení údržby přímo v lomu a má tak možnost odhalit počínající problémy, které by mohly vést k větším a rozsáhlejšími závadám. Další náročnější kontroly však musí vykonávat i nadále specializovaná servisní organizace.

Některé části údržbového plánu, např. kontrola před jízdou, jsou promítnutím autorových osobních zkušeností s provozem a řízením nákladních vozidel.

### 5.1.3 KONTROLA PŘED JÍZDOU

Tato kontrola se provede vždy na začátku směny nebo při předávání vozidla mezi řidiči.

- Při příchodu k vozidlu letmým pohledem zkontrolovat, zda pod vozidlo neunikají nějaké provozní kapaliny.
- Při bližším pohledu zkontrolovat celistvost kabiny a nárazníků, aby nikde nebylo takové poškození, které by mohlo mít za následek újmy na zdraví.
- Zkontrolovat pneumatiky a ráfky (defekty, poškození) a zda nechybí matice na kolových šroubech. Zkontrolovat celistvost nádrží, řádné uzavření palivové nádrže.
- Zkontrolovat funkčnost a čistotu osvětlení.
- Zkontrolovat, zda nejsou skla v kabině poškozena v zorném poli řidiče prasklinou delší než 20 mm.

- Po odklopení krytu motoru zkontrolovat hladinu provozních kapalin, tedy hydraulické kapaliny, motorového oleje, chladicí kapaliny atp.
- Nastartovat a vyčkat na dofouknutí zásobníků vzduchu.
- Zkontrolovat nářadí a příslušenství a případně také palubní desku s chybovými hláškami a kontrolkami.
- Po dofouknutí vzduchu motor vypnout a obejít zásobníky vzduchu, zda nedochází k neobvyklým únikům, které by značily poškození nebo závady na ventilech.
- Kontrolní vyfouknutí ze vzduchojemů pro odstranění kondenzované vlhkosti a nečistot.
- Při odhalení jakékoliv závady je řidič povinen tuto skutečnost neprodleně vlastními silami odstranit, pokud je to možné; nebo toto nahlásit odpovědné osobě, případně oddělení údržby.

#### 5.1.4 TÝDENNÍ KONTROLA – ÚDRŽBA I. STUPNĚ

Týdenní údržba se provádí na konci pracovního týdne po poslední směně, aby bylo vozidlo připraveno pro další výjezd. Taková údržba by měla zahrnovat:

- umytí vozu
- kontrola provozních kapalin
- každou druhou kontrolu vyčištění vzduchového filtru
- kontrola hadic a trubek chladicí soustavy pro možné úniky
- kontrola palivového vedení pro možné úniky
- kontrola hydraulického vedení pro možné úniky
- kontrola a dotažení matic na šroubech kol
- kontrola tlaku v pneumatikách
- kontrola správného dobíjení
- odstranění drobných nahlášených závad

#### 5.1.5 MĚSÍČNÍ KONTROLA – ÚDRŽBA II. STUPNĚ

Tato údržba probíhá jednou měsíčně a zahrnuje náročnější operace. Při této kontrole se vždy provede i údržba I. stupně. Při odhalení jakéhokoliv nadměrného opotřebení je postupováno tak, aby byl potenciálně vadný díl vyměněn přímo oddělením údržby nebo specializovanou servisní organizací. To v praxi znamená, že se nečeká na výskyt poruchy, která by vedla k odstavení vozidla. Daný díl může být také opraven, aby mohl dále plnit svou funkci bez rizika brzkého výskytu poruchy. Taková údržba by měla zahrnovat:

- důkladné umytí vozu
- kontrola stavu brzdového obložení
- kontrola vůle v zavěšení kol
- kontrola uchycení korby
- tlaková kontrola hydraulické soustavy
- kontrola těsnosti olejové vany motoru a uchycení ochranného krytu motoru
- vyčištění motorového prostoru od usazeného prachu a dalších nečistot

Doporučení se tedy mohou týkat hlavně pravidelné kontroly vzduchových filtrů, které je vhodné během letních prašných měsíců čistit a profukovat stlačeným vzduchem jednou za dva týdny a po maximálně třech čištěních vyměnit tyto filtry za nové. Ve výsledku se při velké prašnosti filtry mění po jednom a půl měsíci oproti předepisovaným dvěma měsícům. To má za následek sice drobné zvýšení nákladů, na druhou stranu zaručenou dobrou funkčnost motoru, ke kterému se tak dostává průměrně mnohem čistější vzduch, než pokud by se údržba filtrů přehlížela a ty se tak jen měnily dle předepsaných intervalů. Také je vhodné průběžně kontrolovat brzdové obložení, které může vykazovat známky opotřebení a je dobré čistit usazené prachové částice v prostoru brzd, kde by mohlo docházet k nerovnoměrnému opotřebení brzdového obložení. Také se doporučuje pravidelně kontrolovat dotažené šroubové matice a šroubové spoje na podvozku a dalších částech vozidla a v případě odhalení povoleného šroubového spoje tento spoj dotáhnout a zabezpečit před dalším samovolným povolováním.

Vzhledem k výše zmíněným výsledkům by bylo užitečné zaměřit se u Belazu 2 na pohonnou jednotku, její chod a odhalení ztrát výkonu. Rozdíl ve spolehlivosti a spotřebě může způsobovat celkově vyšší nájezd vozidla vzhledem k jeho vyššímu stáří.

## 5.2 TATRA

U Tater jsou podklady od výrobce o něco málo obsáhlejší ve významu rozpisů jednotlivých stupňů prohlídek (Tabulka 15) a rozlišení různých provozních podmínek, které pak ovlivňují servisní intervaly dle tabulky 16.

Tabulka 15 - Typy prohlídek [23]

Označení servisní prohlídky	Typ prohlídky
D	denní prohlídka
M	měsíční prohlídka
První	první servisní prohlídka po ujetí 7 500 až 10 000 km nebo nejpozději osm týdnů od předání vozidla prvnímu uživateli, podle toho, co nastane dříve
X	servisní prohlídka v závislosti na počtu ujetých km, současně s předepsanou výměnou oleje v motoru
X2	servisní prohlídka v závislosti na počtu ujetých km (po dosažení 60 000 km)
X4	servisní prohlídka v závislosti na počtu ujetých km (po dosažení 180 000 km)
Y	servisní prohlídka roční - (pravidelně každý rok)
Y2	servisní prohlídka každé dva roky
Y3	servisní prohlídka každé tři roky
Y4	servisní prohlídka každé čtyři roky
S – speciální	obnova antikorozi ochranné vrstvy – měla by být provedena mezi devátým a patnáctým měsícem po dodání vozidla
S1	speciální prohlídka prováděná jednou, současně s první servisní prohlídkou "X"

Standardní servisní interval (značen v tabulce 16 jako STD) je určen pro vozy skupiny I, což jsou vozidla provozovaná na zpevněných komunikacích např. pro rozvážkovou dopravu a pro vozidla vybavena nástavbami pro přepravní a záchranné účely (HZS apod.). Zpřísněný servisní interval HD (Heavy Duty) je určen pro vozidla pohybující se po nezpevněných komunikacích a v terénu. Interval HD platí také pro vozidla sloužících pro svoz a zpracování komunálního odpadu a také pro vozidla provozovaná v prašném prostředí (zemědělství, polní práce apod.) Výjimkou nejsou ani vozidla vybavená nástavbami pro stavební, těžbařské a komunální účely (např. údržba silnic).

Tabulka 16 - Typy servisních intervalů [23]

Skupina vozidel	Značení intervalu	Typ intervalu
I	STD	Standardní servisní interval
II	HD	Standardní servisní interval Heavy Duty

Podobné dělení na kategorie vozidel není oproti Tatrám u Belazů potřeba, protože u Belazů se automaticky předpokládá náročný provoz v lomech a dolech.

Automobilka Tatra stanovila stanovenou povinnost, podle které musí prodejce začlenit prodávané vozidlo do správné kategorie podle typového listu a konzultace se zákazníkem. Následně je potřeba vytvořit časovou osu plánu servisních intervalů pro dané vozidlo. Provozovatel se následně řídí upraveným plánem pro jeho specifické podmínky provozu.

### 5.2.1 STÁVAJÍCÍ SYSTÉM ÚDRŽBY

U stávajícího plánu v tabulce 17 je patrné, že jsou veškeré údržbové intervaly stanoveny na 30 000 km a 1 rok (podle toho co nastane dříve), případně jejich násobky.

Tabulka 17 - Stávající systém údržby Tatra Phoenix [23]

Údržbový úkon	Plán údržby nastavený prodejcem
servisní interval	30 000 km / 1 rok
skupina údržby (typ provozu)	II
ujeté kilometry za rok	30 000 km
interval servisní prohlídky X	30 000 km
interval servisní prohlídky Y	1 rok
interval výměny motorového oleje	30 000 km / 1 rok
interval výměny oleje v převodovce	180 000 km / 3 roky
interval výměny oleje v přídatné převodovce	90 000 km / 1 rok
interval výměny oleje v kolových redukcích	30 000 km / 1 rok

### 5.2.2 NÁVRH ÚPRAV

Dle výsledků z kapitoly 4.4 dosahují Tatry celkově vyšší spolehlivosti než Belazy, přesněji řečeno střední doby do poruchy jsou u Tater delší než u Belazů.

Vzhledem k tomu, že samotný výrobce vozidel Tatra upravuje údržbový plán na míru každému vozidlu dle jeho výbavy a provozních podmínek, dá se předpokládat, že takový plán údržby bude pro dané vozidlo blízko požadovanému ideálu. Ani u Tater nebyly odhaleny časté výskyty opakujících se poruch, u kterých by bylo potřeba řešit předcházení úpravou plánu údržby. U Tater je nejmenší spolehlivost v oblasti podvozku, kde hned ze začátku používání docházelo k problémům s měchy pérování, které byly opakovaně opravovány a měněny. Od doby těchto oprav nebyly nadále zaznamenány další problémy s měchy.

Podobně jako u Belazů, i zde byl navržen jednoduchý plán kontrol, které lze provádět v oddělení údržby. Díky nim lze poté odhalit ještě nenastalé poruchy s předstihem nebo je alespoň očekávat a zkrátit tak prodlevy při čekání na náhradní díly. U následujících kontrol jsou oproti Belazům drobné odchylky a celkově jsou tyto kontroly oproti Belazům jednodušší.

### 5.2.3 KONTROLA PŘED JÍZDOU

Tato kontrola je shodná s předvýjezdní kontrolou u Belazu, protože v základu se jedná o vozidla s podobným zaměřením a je tak zapotřebí dbát základní obezřetnosti a předvídatosti.

- Při příchodu k vozidlu letmým pohledem zkontrolovat, zda pod vozidlo neunikají nějaké provozní kapaliny.
- Při bližším pohledu zkontrolovat celistvost kabiny a nárazníků, aby nikde nebylo takové poškození, které by mohlo mít za následek újmy na zdraví.
- Zkontrolovat pneumatiky a ráfky (defekty, poškození) a zda nechybí matice na kolových šroubech. Zkontrolovat celistvost nádrží, řádné uzavření palivové nádrže.
- Zkontrolovat funkčnost a čistotu osvětlení.
- Zkontrolovat, zda nejsou skla v kabině poškozena v zorném poli řidiče prasklinou delší než 20 mm.
- Po odklopení krytu motoru zkontrolovat hladinu provozních kapalin, tedy hydraulické kapaliny, motorového oleje, chladicí kapaliny atp.
- Nastartovat a vyčkat na dofouknutí zásobníků vzduchu.

- Zkontrolovat nářadí a příslušenství a případně také palubní desku s chybovými hláškami a kontrolkami.
- Po dofouknutí vzduchu motor vypnout a obejít zásobníky vzduchu, zda nedochází k neobvyklým únikům, které by značily poškození nebo závady na ventilech.
- Kontrolní vyfouknutí ze vzduchojemů pro odstranění kondenzované vlhkosti a nečistot.
- Při odhalení jakékoliv závady je řidič povinen tuto skutečnost neprodleně vlastními silami odstranit, pokud je to možné; nebo toto nahlásit odpovědné osobě, případně oddělení údržby.

#### 5.2.4 TÝDENNÍ KONTROLA – ÚDRŽBA I. STUPNĚ

Týdenní údržba se provádí na konci pracovního týdne po poslední směně, aby bylo vozidlo připraveno pro další výjezd. Taková údržba by měla zahrnovat:

- umytí vozu
- kontrola provozních kapalin
- každou druhou kontrolu vyčištění vzduchového filtru
- kontrola hadic a trubek chladicí soustavy pro možné úniky
- kontrola palivového vedení pro možné úniky
- kontrola hydraulického vedení pro možné úniky
- kontrola a dotažení matic na kolových šroubech
- kontrola tlaku v pneumatikách
- kontrola správného dobíjení akumulátoru
- odstranění drobných nahlášených závad

#### 5.2.5 MĚSÍČNÍ KONTROLA – ÚDRŽBA II. STUPNĚ

Tato údržba probíhá jednou měsíčně a zahrnuje náročnější operace. Při této kontrole se vždy provede i údržba I. stupně. Při odhalení jakéhokoliv nadměrného opotřebení je postupováno tak, aby byl potenciálně vadný díl vyměněn přímo oddělením údržby nebo specializovanou servisní organizací, přičemž se nečeká na výskyt poruchy, která by vedla k odstavení vozidla. Měsíční údržba by měla zahrnovat:

- důkladné umytí vozu
- kontrola stavu brzdového obložení
- kontrola vůle v zavěšení kol
- kontrola uchycení korby
- tlaková kontrola hydraulické soustavy
- kontrola těsnosti olejové vany motoru a uchycení ochranného krytu motoru
- vyčištění motorového prostoru od usazeného prachu a dalších nečistot

## 6 SHRNUTÍ

### 6.1 SHRNUTÍ PROBLEMATIKY

Spolehlivost vozového parku a na to navázané plánování údržby je obsáhlá problematika, kde se obojí navzájem ovlivňuje. Pokud je od začátku údržba nevhodně nastavena a špatně prováděna, rychle klesá celková životnost stroje. Při nezanedbání údržby a pravidelných kontrol se četnost poruch snižuje na minimum. Naopak pokud je údržba předimenzovaná, vozidlo může v neprovozním stavu strávit mnohem více času, než je potřeba, a proto pak není tak výdělečné jako jiné vozidlo, u kterého bude údržba prováděna efektivněji.

Vždy je třeba hledat vhodné kompromisy, a to určitě platí také pro údržbu. Tvůrce servisního plánu vozidla musí dané vozidlo velmi podrobně znát a vědět, jaké opotřebení hrozí různým komponentám a na čem je toto opotřebení závislé. V případě odhalení velkých nesrovnalostí mezi očekávanou a skutečnou spolehlivostí je zase důležité hledat příčiny, které by mohly být konstrukčního rázu. V provozu se na vozidlech běžně střídá více řidičů s osobitým jízdním stylem a návyky každého z nich se vždy projeví na svěřeném vozidle. Proto se stává, že více než předepisování kratších servisních intervalů, vylepšení spolehlivosti způsobí změna některých zlovyků z reálného provozu.

### 6.2 ZHODNOCENÍ

Zjištěné spolehlivosti automobilů jsou vysoké a přibližují se četnosti prováděných údržbových zásahů. Střední doby do poruchy by tak vzrostly hlavně po prodloužení servisních intervalů. To by však v některých případech mohlo mít naopak špatný vliv na životnost jednotlivých komponent a četnost poruch by tak mohla vzrůst, čímž by se ve výsledku střední doba do poruchy zkrátila. Výše uvedená opatření by neměla mít vliv na frekvenci odstavování vozidel během pracovní doby, ale měla by preventivně předcházet možným poruchám. Na životnost vozidla a komponent má totiž velký vliv kromě konstrukčních řešení a provozních podmínek také čištění, mazání a celková kontrola stavu jednotlivých částí vozu. Zavedení pravidelných preventivních kontrol by mělo vyvážit mírné prodloužení servisních zásahů, výměn náplní apod. Takové opatření by však svůj potenciální úspěch prokázalo až po delší době, během které by se nasbíralo dostatečné množství dat, ze kterých by bylo možné vyvodit další závěry.



## ZÁVĚR

Tato diplomová práce pojednává o stanovení spolehlivostí nákladních automobilů Belaz 7547 a Tatra 158 Phoenix ve vápencovém lomu LB Cemix Kotouč Štramberk a návrhu změn systému údržby těchto vozidel. Pomocí získaných záznamů byly vypočteny intervaly mezi poruchami u jednotlivých zvolených konstrukčních celků, celých vozidel a také celých flotil daného typu vozidel.

Podle vypočtených výsledků je u Belazů nejméně spolehlivá konstrukční skupina motor a u Tater podvozek. Celkově za všechna vozidla je nejméně spolehlivou konstrukční skupinou motor, která je ale oproti jiným částem asi nejrozsáhlejší a nejkomplikovanější. V konstrukčních částech brzdy a elektronika bude s postupujícím časem záznamů přibývat, proto bude v budoucnu možné zahrnout také tyto skupiny do posuzování výsledků Tater, které si zatím musely vystačit jen se třemi analyzovatelnými skupinami. Celkově lze konstrukci obou typů vozidel označit za vyspělou, protože se podíl neplánovaných oprav pohybuje do 20 % ze sumy všech oprav. Kromě posouzení samotné spolehlivosti byla v této práci porovnávána jednotlivá vozidla na základě množství převezeného materiálu, spotřeb PHM a výsledné měrné spotřeby PHM na jednotku převezené tuny materiálu. Také zde vyšly výhodněji Tatry než Belazy. Tatry docílily téměř poloviční měrné spotřeby.

Dále byly zkoumány plány údržby, ze kterých poté byly vyvozeny další závěry – že není potřeba provádět v předepsaných plánech přílišné změny, ale je vhodné se zaměřit na preventivní kontrolu vyjmenovaných komponent, aby u nich nedocházelo k nepředvídatelným poruchám.

Závěrem této práce je potřeba zhodnotit, že z výsledků analýz, založených na dostupných datech, se Tatry jeví jako vhodnější vozidla pro práci v lomu Kotouč Štramberk. Při pořizování nových vozidel by měly být výhodnější volbou než vozidla Belaz, ale v konečném rozhodnutí se může projevit také finanční nákladnost údržby a pořizovací cena. Tyto finanční položky jsou z pochopitelných důvodů neveřejné, a proto jsou závěry této práce vyvozeny jen na základě analýz spolehlivosti a porovnatelných spotřeb paliva při podobných provozních podmínkách.

## SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- [1] *Kotouč Štramberk*. In: *wikipedia.org* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kotou%C4%8D\\_%C5%A0tramberk](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kotou%C4%8D_%C5%A0tramberk)
- [2] *Mapa: Kotouč Štramberk*. In: *mapy.cz* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.1095002&y=49.5915401&z=14&source=firm&id=197260>
- [3] *History*. In: *lasselsberger.com* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <https://www.lasselsberger.com/en/history>
- [4] *Historie LB Cemix, s.r.o.* In: *cemix.cz* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <https://www.cemix.cz/historie>
- [5] *Historie výroby*. In: *tatra.cz* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <https://www.tatra.cz/o-spolecnosti/historie-tatry/historie-vyroby/>
- [6] *Nákladní auta – běloruské sklápěče z Belazu*. In: *m-zemnipace.cz* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <https://www.m-zemnipace.cz/zajimavosti.htm>
- [7] *Belaz Trucks – Obři z Běloruska*. In: *automobilrevue.cz* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: [https://www.automobilrevue.cz/rubriky/testy/predstavujeme/belaz-trucks-obri-z-beloruska\\_44888.html](https://www.automobilrevue.cz/rubriky/testy/predstavujeme/belaz-trucks-obri-z-beloruska_44888.html)
- [8] *History*. In: *belaz.by* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <http://www.belaz.by/en/about/history/>
- [9] *Deutz BF 8 M 1015 C*. In: *deutz.com* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <https://www.deutz.com/en/products/engines/>
- [10] *BELAZ-7547 Series*. In: *belazia.sg* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <http://www.belazia.sg/catalog/products/dumptrucks/7547/specification/>
- [11] *НБЕЛАЗ-7547: технические характеристики, обзор, описание*. In: *maxi-exkavator.ru* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: [https://maxi-exkavator.ru/excapedia/technic/7547\\_belaz](https://maxi-exkavator.ru/excapedia/technic/7547_belaz)
- [12] *TATRA PHOENIX*. In: *tatra.cz* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <https://www.tatra.cz/nakladni-automobily/produktovy-katalog/tatra-phoenix>
- [13] *Motory*. In: *tatra.cz* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <https://www.tatra.cz/proc-tatru/technicka-koncepce-tatra/motory/>

- [14] *Paccar engines MX-13*. In: *paccarpowertrain.com* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <https://paccarpowertrain.com/engines/mx-13/>
- [15] *Tatra 158 Phoenix*. In: *wikipedia.org* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Tatra\\_158\\_Phoenix](https://cs.wikipedia.org/wiki/Tatra_158_Phoenix)
- [16] MONSPORT, Vojtěch. *Návrh postupů těžby na vápencovém lomu Kotouč Štrambersk v letech 2013 - 2017* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/92525>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [17] Famfulík, J.: *Teorie údržby*. 1. vyd., Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2006. 136 s. ISBN 80-248-1029-8
- [18] Holub, R., Vintr, Z.: *Spolehlivost letadlové techniky (elektronická učebnice)*. Brno: VUT v Brně, 2001. 233 s. <http://lu.fme.vutbr.cz>
- [19] Famfulík, J.; Krzyžanek, R.; Hranoš, V.; Galvasová, Z.: *Spolehlivost pozemní dopravy*. 2. vyd., Ostrava: VŠB – TU Ostrava; Pardubice: Univerzita Pardubice, 2017. 173 s. ISBN 978-80-248-3266-1
- [20] *History*. In: *lasselsberger.com* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <https://www.lasselsberger.com/en/history>
- [21] *History*. In: *lasselsberger.com* [online] [15-03-2020]. Dostupné z: <https://www.lasselsberger.com/en/history>
- [22] Servisní intervaly pro výměny olejů a mazání strojů Belaz z příručky ke strojům Belaz 7547. Poskytnuto firmou LB Cemix Kotouč Štrambersk.
- [23] TATRA PHOENIX – Servisní sešit. Poskytnuto firmou LB Cemix Kotouč Štrambersk.

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Převedené záznamy ze zakázkových listů do tabulky (autor).....	37
Tabulka 2 - Záznam poruch všech sledovaných konstrukčních skupin pro Belaz 1 (autor).....	38
Tabulka 3 - Tabulka vypočtených hodnot $j$ , $t$ , $Fi(m)$ , $ln(t)$ a subs $Y$ (autor) .....	39
Tabulka 4 - Získané parametry $W2p$ (autor) .....	40
Tabulka 5 - Tabulka výsledků pro Belaz 1 – celek (autor) .....	42
Tabulka 6 - Tabulka výpočtů $\chi^2$ test dobré shody pro soubor dat Belaz 2 – celek (autor) .	44
Tabulka 7 - Výsledek výpočtů $\chi^2$ test dobré shody pro soubor dat Belaz 2 – celek (autor)	44
Tabulka 8 - Tabulka výpočtů Kolmogorov - Smirnovova testu pro jeden výběr pro soubor dat Belaz 1 – celek (autor).....	46
Tabulka 9 - Testové kritérium výpočtů Kolmogorov - Smirnovova testu pro jeden výběr pro soubor dat Belaz 1 – celek (autor).....	46
Tabulka 10 - Kritické hodnoty výpočtů Kolmogorov - Smirnovova testu pro jeden výběr pro soubor dat Belaz 1 – celek (autor).....	46
Tabulka 11 - Výsledek výpočtů Kolmogorov - Smirnovova testu pro jeden výběr pro soubor dat Belaz 1 – celek (autor).....	46
Tabulka 12 - Zjištěné střední doby do poruchy u jednotlivých vozidel a flotil vozidel (autor) .....	47
Tabulka 13 - Servisní intervaly pro výměny olejů a mazání strojů Belaz [22] .....	64
Tabulka 14 - Převod $M_{th}$ na čas (autor).....	65
Tabulka 15 - Typy prohlídek [23] .....	68
Tabulka 16 - Typy servisních intervalů [23] .....	69
Tabulka 17 - Stávající systém údržby Tatra Phoenix [23] .....	69

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Mapa: Kotouč Štramberk [2] .....	14
Obr. 2 - Pohled na lom (autor) .....	15
Obr. 3 - Počátky výroby vozidel Tatra [5].....	16
Obr. 4 - Belaz 540 [7].....	17
Obr. 5 - Motor Deutz BF 8 M 1015C [9] .....	18
Obr. 6 - Belaz 7547 [11].....	19
Obr. 7 - Tatra Phoenix [12].....	19
Obr. 8 - Paccar MX-13 [14].....	20
Obr. 9 - Letecký pohled na lom [16].....	22
Obr. 10 - ISO 9000:2000 [17].....	23
Obr. 11 - IEC 50 (191) [17] .....	24

## SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A PŘÍLOH

Obr. 12 - Rozptyl a střední hodnota (autor).....	26
Obr. 13 - Histogram četnosti (autor) .....	27
Obr. 14 - Hustota pravděpodobnosti (autor).....	27
Obr. 15 - Distribuční funkce (autor).....	28
Obr. 16 - Doplněk distribuční funkce (autor) .....	29
Obr. 17 - Hustota pravděpodobnosti exponenciálního rozdělení (autor) .....	30
Obr. 18 - Distribuční funkce exponenciálního rozdělení (autor).....	31
Obr. 19 - Distribuční funkce W2p v závislosti na parametru m (autor).....	32
Obr. 20 - Hustota pravděpodobnosti W2p v závislosti na parametru m (autor).....	33
Obr. 21 - Záznamy dat "Belaz 1 - celek" proložené přímkou s vypsáním její rovnice (autor) .....	40
Obr. 22 - Průběh distribuční funkce W2p pro Belaz 1 – celek (autor) .....	41
Obr. 23 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin vozidla Belaz 1 (autor).....	48
Obr. 24 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin vozidla Belaz 2 (autor).....	49
Obr. 25 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin vozidla Belaz 3 (autor).....	50
Obr. 26 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin flotily vozidel Belaz (autor) .....	51
Obr. 27 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin vozidla Tatra 1 (autor) .....	52
Obr. 28 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin vozidla Tatra 2 (autor) .....	53
Obr. 29 - Porovnání středních dob do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin flotily vozidel Tatra (autor).....	54
Obr. 30 - Porovnání středních dob do poruchy motoru mezi jednotlivými vozidly (autor)	55
Obr. 31 - Porovnání středních dob do poruchy převodového ústrojí mezi jednotlivými vozidly (autor).....	56
Obr. 32 - Porovnání středních dob do poruchy podvozku mezi jednotlivými vozidly (autor) .....	57
Obr. 33 - Porovnání středních dob do poruchy brzd mezi jednotlivými vozidly (autor) ....	58
Obr. 34 - Porovnání středních dob do poruchy elektroniky mezi jednotlivými vozidly (autor) .....	59
Obr. 35 - Porovnání středních dob do poruchy celého vozidla mezi jednotlivými vozidly (autor) .....	60
Obr. 36 - Množství převezeného materiálu jednotlivými vozidly za rok 2019 (autor).....	61
Obr. 37 - Spotřeba PHM jednotlivých vozidel za rok 2019 (autor).....	62
Obr. 38 - Měrná spotřeba PHM jednotlivých vozidel za rok 2019 (autor) .....	63

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Zakázkový list Belaz

Příloha B: Zakázkový list Tatra


Příloha C: Přepis zakázkových listů do MS Excel – Filak\_Martin\_DP\_zaznamy\_oprav.xlsx  
(Dostupné na přiloženém CD)

Příloha D: Výpočty Ts, testování dat – Filak\_Martin\_DP\_vypocty\_CHI\_K-S.xlsx  
(Dostupné na přiloženém CD)

Příloha E: Záznamy výtěžností vozidel – Filak\_Martin\_DP\_vyteznost\_vozidel.xlsx  
(Dostupné na přiloženém CD)

79



		<b>ZAKÁZKOVÝ LIST</b> TATRA TRUCKS a.s. Areál Tatry 1450/1 742 21 Kopřivnice				Zakázka číslo: s2/8128	
Typ T 158 E5	SPZ	č.motoru/agregátu/UDS A229913	číslo podvozku TNU8P5S46FK000806	karosérie	Stav technického 23825		
Vozidlo přistaveno 01.01.2018	Datum 1. prodeje 27.11.2015	Datum 2. prodeje 17.12.2015	Ukončení opravy	Stav PHM 1/2			
Odběratel : TATRA TRUCKS, a.s. HS 0030 NS 2630 odbor garančního servisu Areál Tatry 1450/1 742 21 Kopřivnice IČO: 01482840 DIČ: CZ01482840							
Objednávka-obch.zakázka: Číslo účtu:							
zrcátko velké	2	autorádio	0	před.světlom.	2	prop.hadice návěsu	0
zrc.malé dveří	3	maják	1	vysílačka	0	prop.kabel návěsu	0
zrc.malé před.	1	anténa	1	rezerva	0		
Provozovatel vozidla - agregátu: KOTOUČ							
S kým se jednalo: Wáclav Eduard Tel.: 556 49 2594 Mob.:							
Rozsah opravy: 1) POPRASKANÉ MĚCHY PĚROVÁNÍ							

Souhlasím s provedením výše uvedených prací a jejich úhradou při odběru vozidla - agregátu, a to v souladu s Obchodním zákoníkem v platném znění. Záruka na provedenou práci je poskytována v souladu s Obchodním zákoníkem. Případné technické kontroly pro zachování záruky budou dohodnuty při předání vozidla.

Potvrzuji předání dopravního prostředku

Převzal: T Ryška Jiří

Telefon: 737275495

Mobil:

Datum vystavení: 01.01.2018

Předal:

Telefon:

Mobil:

Zakázku po opravě předal:

Datum ukončení:

Zakázku po opravě převzal:

**Zákaz volného pohybu zákazníka po objektu a dílenských prostorách!**